



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FINAL DE GRADO

TÍTULO: DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA TABLA DE SURF

AUTOR: RUIZ MARTINEZ, JOSE CARLOS

DATA DE PRESENTACIÓ: 11 DE JULIO, 2018

Diseño y fabricación de una tabla de surf
Ruiz Martínez, Jose Carlos

APELLIDOS: RUIZ MARTINEZ

NOMBRE: JOSE CARLOS

TITULACIÓ: INGENIERÍA MECÁNICA

PLAN: GRADO

DIRECTOR: SANZ COLLADO, GERARD

DEPARTAMENT: EXPRESIÓN GRÁFICA

QUALIFICACIÓ DEL TFG

TRIBUNAL

PRESIDENTE

JUAN SOLER,
RUIZ

SECRETARIO

LÓPEZ MEMBRILLA,
DOLORES

VOCAL

TORRAS SENDRA,
MARIA ALBA

DATA DE LECTURA: 11 de JULIO de 2018

Aquest Projecte té en compte aspectes mediambientals: ☒ Si ☐ No

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es la fabricación de un prototipo de una tabla de surf, con el cual se busca dar solución a los principales problemas medioambientales, de contaminación, resistencia mecánica, etc. que presentan los materiales más utilizados en la actualidad.

Para ello se realiza un estudio del proceso de producción y de las propiedades y características de los materiales utilizados actualmente en la industria del surf. Se busca un diseño polivalente para utilizar en diferentes tipos de olas, siendo su usuario un varón de 80 kg, 1,8m y un nivel intermedio-avanzado.

Inicialmente se realiza un estudio de la anatomía y las formas de una tabla de surf; para posteriormente diseñar un prototipo para sacar el máximo rendimiento surfando, proporcionando un buen desarrollo en el agua.

Una vez conocidas las exigencias mecánicas necesarias para el funcionamiento de una tabla de surf se proponen una serie de materiales y se realiza un estudio de los posibles sustitutos de los actuales, anteponiendo los más sostenibles (madera, cartón “nido de abeja”, fibra de carbono, fibras naturales, resinas naturales y resinas ecológicas).

Teniendo en cuenta todas las características mecánicas, las propiedades medioambientales y los factores económicos; los materiales escogidos son el cartón “nido de abeja”, la fibra de vidrio y la resina de poliéster.

Conocida la cantidad de cada material y sus propiedades medioambientales se puede asegurar un claro descenso de la huella de carbono (emisión de kg de CO₂ durante el ciclo de vida) y la de la energía incorporada (energía (MJ) por kilogramos (kg) de producto desde su extracción hasta el final de su vida útil).

Finalmente se estudian los tipos de procesos de fabricación de tablas de surf que existen en la actualidad para proceder a la fabricación del prototipo.

Como resultado del proceso de fabricación, el cartón “nido de abeja” presenta problemas a la hora de proporcionar la rigidez necesaria y dificulta que la fibra de vidrio junto a la resina se impregne en él.

Llegado a este punto se presentan diferentes soluciones a los dos problemas presentados, mantenido los materiales escogidos y buscando en todo momento una reducción del impacto ambiental.

Paraules clau (màxim 10):

Cartón “nido de abeja”	Sostenible	Diseño	Medioambiente
Prototipo	Tabla de surf	Resina de Poliéster	Fabricación
Materiales	Fibra de vidrio		

ABSTRACT

This project aims to create a prototype model of a surfboard. It intends to provide a solution for the main problems (i.e., environmental concerns, pollution, mechanical strengths, etc.) arising from the application of specific materials which are most commonly used nowadays.

For this purpose, research is conducted on the current production processes found in the industry of surf, including the properties and characteristics of the materials which are most widely used. The goal is to create a multi-purpose design, to be used on different wave types and by an 80-kilogram, 1.8-meter male, having an intermediate-advanced level in surf practice.

Firstly, a study is made about the design and form of a surfboard, so as to outline then a prototype with the most efficient results when surfing, and delivering a good performance on water.

Once we know about the most basic mechanic requirements for a correct performance of a surfboard, a range of different materials are put forward and analysed with a view to substitute the current, ordinary components. This is done by prioritizing the more sustainable materials, such as wood, honeycomb-structured cardboard, natural fibre and natural and ecological resins.

Considering all the mechanic implications, the environmental characteristics and economic factors, the chosen materials are the honeycomb cardboard, fiberglass and polyester resin.

After analyzing the amount of each material and their environmental properties, we can guarantee a significant reduction in carbon footprint (amount of carbon dioxide released during its life cycle) and embodied energy [energy (MJ) per kilograms (kg) of the product from extraction to the end of its life cycle.]

Finally, we have a look at the manufacturing processes of a surfboard and proceed to the production of a prototype.

As a result of the manufacturing process, the honey-comb cardboard causes some difficulties in terms of rigidity and the fiberglass with the resin permeates the cardboard hardly.

At this point, different solutions to these two problems are proposed, while keeping the chosen materials and aiming to reduce its environmental impact.

Keywords (10 maximum):

Honeycomb cardboard	Sustainable	Design	Environment
Prototype	Surfboard	Polyester resin	Manufacturing
Materials	Fiberglass		

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE TABLAS	8
1. OBJETIVO DEL PROYECTO.....	9
1.1. OBJETIVOS EDUCATIVOS.....	10
1.2. OBJETIVOS PERSONALES.....	10
2. ALCANCE	11
3. PROBLEMÁTICA	12
4. LA INGENIERÍA DE UNA TABLA DE SURF	14
4.1. HISTORIA DEL SURF	14
4.2. EVOLUCIÓN DEL SURF.....	16
4.3. ESTADO DEL ARTE	18
4.4. USUARIO DE TABLAS DE SURF	19
4.5. TIPOS DE TABLAS DE SURF	20
4.6. ANATOMÍA, COMPOSICIÓN Y MATERIALES	23
4.6.1. FUNDAMENTOS TÉCNICOS DE UNA TABLA SURF	23
4.6.2. COMPOSICIÓN Y MATERIALES	31
4.6.2.1. NÚCLEO.....	31
4.6.2.1.1. ESPUMA DE POLIURETANO (PUR).....	32
4.6.2.1.2. ESPUMA POLIESTIRENO	35
4.6.2.1.2.1. ESPUMA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS).....	36
4.6.2.1.2.2. ESPUMA DE POLIESTIRENO EXTRUIDO (XPS).....	38
4.6.2.1.2.3. FIN VIDA ÚTIL EPS Y XPS	39
4.6.2.2. REFUERZO Y MATRIZ	40
4.6.2.2.1. REFUERZO: FIBRA DE VIDRIO	41
4.6.2.2.2. MATRIZ: RESINA EPOXI Y POLIÉSTER	43
4.6.2.2.2.1. RESINA POLIÉSTER	44
4.6.2.2.2.2. RESINA EPOXI.....	47
4.6.2.2.2.3. RESINA EPOXI VS RESINA POLIÉSTER	48
4.6.2.3. FIN VIDA ÚTIL MATERIALES COMPUESTOS	49
4.6.2.3. TAPÓN INVENTO Y QUILLAS.....	52
4.7. MÉTODOS DE FABRICACIÓN.....	53
4.7.1. PRE-SHAPE.....	53
4.7.2. SHAPEADO.....	54
4.7.3. PINTADO.....	54
4.7.4. LAMINADO	55
4.7.5. LIJADO Y GLASEADO.....	55
4.8. MÉTODOS DE REPARACIÓN	56
4.8.2. GOLPE O ROTURA PEQUEÑA (ASTILLADO)	56
4.8.3. GOLPE GRANDE O ROTURA TOTAL (GRIETA)	56
4.9. PROBLEMÁTICA ACTUAL	57
5. DISEÑO Y FABRICACIÓN.....	59
5.1. ESTUDIOS DE REQUISITOS.....	59
5.2. ESTUDIO BIOMECÁNICO	60
5.3. ESTUDIO MATERIALES.....	61
5.3.1. NÚCLEO.....	62
5.3.1.1. CARTÓN “NIDO DE ABEJA”	62
5.3.1.2. MADERA	64
5.3.2. REFUERZO.....	65

5.3.2.2. FIBRAS NATURALES	66
5.3.3. MATRIZ	67
5.3.3.1. RESINAS BIODEGRADABLES	67
5.4. ESTUDIO DE TÉCNICAS DE FABRICACIÓN	69
5.5. ESTUDIO DE GEOMETRÍAS	70
6. DISEÑO CAD.....	74
7. ENSAYOS Y CÁLCULOS	76
8. FABRICACIÓN PROTOTIPOS	81
8.1. PRE-SHAPE	84
8.2. SHAPEADO.....	88
8.3. LAMINADO.....	88
8.4. LIJADO FINAL Y GLASEADO	90
9. ANALISIS ECONÓMICO.....	91
10. CONCLUSIONES FINALES	92
BIBLIOGRAFÍA	94
AGRADECIMIENTOS	97

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Ilustración 1: Tabla de surf fabricada con botellas de PET</i>	9
<i>Ilustración 2: Contaminación de plásticos en el océano</i>	12
<i>Ilustración 3: Contaminación de CO₂</i>	12
<i>Ilustración 4: Primer documento gráfico que se tiene de este deporte, ilustrado por John Webber</i>	14
<i>Ilustración 5: Noble con su tabla 'Olo'</i>	15
<i>Ilustración 6: Tom Curren surfeando</i>	16
<i>Ilustración 7: Diseño tabla de surf hueca de Tom Blake</i>	17
<i>Ilustración 8: Tabla de surf "sandwich" de Bob Simmons</i>	18
<i>Ilustración 9: Evolución de las tablas de surf a lo largo de la historia</i>	18
<i>Ilustración 10: Clasificación actual de las tablas de surf</i>	20
<i>Ilustración 11: Stand Paddle Board</i>	20
<i>Ilustración 12: Longboard</i>	21
<i>Ilustración 13: Gun</i>	21
<i>Ilustración 14: Malibú (Mini-Longboard)</i>	21
<i>Ilustración 15: Evolutiva</i>	22
<i>Ilustración 16: Shortboard</i>	22
<i>Ilustración 17: Retro</i>	22
<i>Ilustración 18: Fish</i>	23
<i>Ilustración 19: Town-in</i>	23
<i>Ilustración 20: Partes de trabajo en una tabla de surf</i>	24
<i>Ilustración 21: Altura tabla de surf (pies) en función del tamaño de la ola (m)</i>	24
<i>Ilustración 22: Longitud de la tabla de surf (pies) en función de la altura del surfista (m)</i>	24
<i>Ilustración 23: outline tabla de surf</i>	25
<i>Ilustración 24: Wide point tabla de surf</i>	25
<i>Ilustración 25: Tipos de colas de las tablas de surf</i>	25
<i>Ilustración 26: Tipos de nose en una tabla de surf</i>	26
<i>Ilustración 27: El rocker en una tabla de surf</i>	26
<i>Ilustración 28: Tipos de deck en las tablas de surf</i>	26
<i>Ilustración 29: Principales diseño del bottom de una tabla de surf</i>	26
<i>Ilustración 30: Tipos de cantos de una tabla de surf</i>	27
<i>Ilustración 31: Tipos de edge de una tabla de surf</i>	28
<i>Ilustración 32: Configuración quillas: Single fin, Twin fin y tres quillas</i>	28
<i>Ilustración 33: Sistema de sujeción de quillas FCS y Future Fins</i>	28
<i>Ilustración 34: Partes de una tabla de surf</i>	29
<i>Ilustración 35: Relación entre medidas y volumen de una tabla de surf</i>	29
<i>Ilustración 36: Calculadora online del volumen (L) de una tabla de surf</i>	30
<i>Ilustración 37: Gráfica para conocer volumen (L) en función del nivel y el peso (kg) del usuario</i>	30
<i>Ilustración 38: Ubicación y orden de medidas</i>	31
<i>Ilustración 39: Medidas de una tabla de surf</i>	31
<i>Ilustración 40: Composición de una tabla de surf</i>	31
<i>Ilustración 41: Núcleo de poliuretano</i>	32
<i>Ilustración 42: Proceso de inyección por moldeo</i>	33
<i>Ilustración 43: Proceso de reciclado mecánico del PU</i>	33
<i>Ilustración 44: Proceso de obtención de energía del poliuretano</i>	34
<i>Ilustración 45: Plancha de EPS</i>	36
<i>Ilustración 46: Foam de EPS</i>	36
<i>Ilustración 47: Proceso expansión EPS</i>	37
<i>Ilustración 48: Proceso reposo EPS</i>	37
<i>Ilustración 49: Expansión y moldeo final EPS</i>	37
<i>Ilustración 50: Espuma de poliestireno extruido</i>	38
<i>Ilustración 51: Proceso de fabricación de espuma de poliestireno extruido</i>	38
<i>Ilustración 52: Poder calorífico del EPS comparado con otros materiales</i>	39
<i>Ilustración 53: Comparación de la reducción del EPS con el proceso de compactación térmica</i>	40

Diseño y fabricación de una tabla de surf
Ruiz Martínez, Jose Carlos

<i>Ilustración 54: Máquina de compactación térmica</i>	40
<i>Ilustración 55: Gráfica esfuerzo vs deformación de un material compuesto</i>	40
<i>Ilustración 56: Fibra de vidrio</i>	41
<i>Ilustración 57: Proceso obtención fibra de vidrio por el método de fusión directa</i>	42
<i>Ilustración 58: Método de refundición</i>	42
<i>Ilustración 59: Bushing</i>	43
<i>Ilustración 60: Proceso de filamento continuo</i>	43
<i>Ilustración 61: Resina de poliéster</i>	44
<i>Ilustración 62: Catalizador</i>	44
<i>Ilustración 63: Curado de la resina de poliéster en función del tiempo y temperatura</i>	45
<i>Ilustración 64: Resina epoxi</i>	47
<i>Ilustración 65: Fin vida útil de los composites</i>	49
<i>Ilustración 66: Proceso de reciclaje químico composites</i>	50
<i>Ilustración 67: Composite separado por el proceso químico desarrollado por la Universidad de Alicante</i>	50
<i>Ilustración 68: Fin vida útil polímeros</i>	51
<i>Ilustración 69: Modelo de quillas Future</i>	52
<i>Ilustración 70: Modelo de quillas FCS</i>	52
<i>Ilustración 71: Plug quillas modelo FCS X2</i>	52
<i>Ilustración 72: Plug quillas modelo FUTURE</i>	52
<i>Ilustración 73: Plug quillas modelo FCS</i>	52
<i>Ilustración 74: Invento atado al pie del surfista</i>	52
<i>Ilustración 75: Plug del invento</i>	52
<i>Ilustración 76: Máquina de corte industrial</i>	53
<i>Ilustración 77: Máquina de control numérico</i>	53
<i>Ilustración 78: Corte a mano</i>	53
<i>Ilustración 79: Shapeado tabla de surf</i>	54
<i>Ilustración 80: Tablas de surf pintadas</i>	55
<i>Ilustración 81: Pintura después de pulido</i>	55
<i>Ilustración 82: Laminado tabla de surf</i>	55
<i>Ilustración 83: Lijado tabla de surf</i>	55
<i>Ilustración 84: Pasta resina poliéster</i>	56
<i>Ilustración 85: Pasta resina epoxi</i>	56
<i>Ilustración 86: Astillado tabla de surf</i>	56
<i>Ilustración 87: Tabla de surf rota por la mitad</i>	57
<i>Ilustración 88: Rotura nose tabla de surf</i>	57
<i>Ilustración 89: Zonas de apoyo en una tabla de surf</i>	59
<i>Ilustración 90: Principal zona de rotura de una tabla de surf</i>	59
<i>Ilustración 91: Posible rotura de una tabla debido a la fuerza de una ola</i>	60
<i>Ilustración 92: Posible rotura de una tabla de surf en su uso en el agua</i>	60
<i>Ilustración 93: Maniobra del take-off</i>	60
<i>Ilustración 94: Maniobra del "pato"</i>	60
<i>Ilustración 95: Diferentes personas practicando surf (personas mayores, discapacitados físicos...)</i>	61
<i>Ilustración 96: Usuario prototipo</i>	61
<i>Ilustración 97: Estructura panel tipo sandwich</i>	62
<i>Ilustración 98: Estructura panel de abeja</i>	62
<i>Ilustración 99: Proceso de expansión para producir cartón "nido de abeja"</i>	63
<i>Ilustración 100: Proceso de corrugado producción de cartón "nido de abeja"</i>	63
<i>Ilustración 101: Aplicación de una carga P a una estructura de panel tipo sandwich</i>	64
<i>Ilustración 102: Ejes y dirección de fibras en un tablón de madera</i>	65
<i>Ilustración 103: Rollo de fibra de carbono</i>	65
<i>Ilustración 104: Producción de fibras de carbono</i>	66
<i>Ilustración 105: Fibras naturales</i>	66
<i>Ilustración 106: Clasificación de biopolímeros según su fuente</i>	67
<i>Ilustración 107: Resina epoxi Bio (SUPERSAP)</i>	68
<i>Ilustración 108: Proceso de colocación manual de capas</i>	69
<i>Ilustración 109: Herramientas para el cálculo de volumen del prototipo</i>	70
<i>Ilustración 110: Medidas de una tabla de surf a partir de la altura de la ola y del usuario</i>	71
<i>Ilustración 111: Plantilla del software AKU shaper</i>	71

Diseño y fabricación de una tabla de surf
Ruiz Martínez, Jose Carlos

<i>Ilustración 112: Vista perfil prototipo tabla de surf</i>	<i>72</i>
<i>Ilustración 113: Contornos, rails y Edge del prototipo de la tabla de surf</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 114: Vista 3d del prototipo de la tabla de surf</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 115: Plano 2D prototipo tabla de surf</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 116: Máquina de corte CNC</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 117: Diseño 3D prototipo en Catia V5</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 118: Fuerzas que se ejercen en la tabla en estático</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 119: Fuerzas que se ejercen en la tabla en movimiento</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 120: Gráfico foodprint vs Embodied Energy de los materiales utilizados en la industria del surf comparado con el cartón “nido de abeja”</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 121: Gráfica de la huella de carbono kg CO₂ por tipo de tabla de surf y material</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 122: Gráfica de la energía incorporada (MJ/kg) por tipo de tabla de surf y material</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 123: Energía incorporada (MJ/kg) total de cada tipo de tabla</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 124: Huella de carbono (kg CO₂) de cada tipo de tabla</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 125: Proceso previo al corte del núcleo</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 126: Corte del núcleo</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 127: Núcleo cortado</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 128: Corte lateral del núcleo</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 129: Proceso de limpieza del núcleo</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 130: Flexión del núcleo</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 131: Corte del alma</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 132: Introducción del alma en el núcleo</i>	<i>87</i>
<i>Ilustración 133: Proceso de pegado del contorno con cartón</i>	<i>87</i>
<i>Ilustración 134: Proceso de endurecimiento del núcleo con resina de poliéster</i>	<i>87</i>
<i>Ilustración 135: Proceso de lijado del núcleo</i>	<i>88</i>
<i>Ilustración 136: Núcleo listo para laminar</i>	<i>88</i>
<i>Ilustración 137: Refuerzo de fibra de vidrio para las quillas</i>	<i>89</i>
<i>Ilustración 138: Distribución de resina de poliéster con squeegee</i>	<i>89</i>
<i>Ilustración 139: Fibra de vidrio encima del núcleo</i>	<i>89</i>
<i>Ilustración 140: Proceso laminado en el bottom</i>	<i>89</i>
<i>Ilustración 141: Bottom de la tabla laminado</i>	<i>90</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Relación entre peso (kg), volumen (L) y nivel del usuario</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 2: Propiedades físicas de los tipos de fibra de vidrio (C, E, S y R)</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 3: Tabla comparativa de las características resina poliéster vs epoxi</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 4: Tabla comparativa de tres estructuras tipo "sandwich"</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 5: Tabla comparativa características entre la fibra de vidrio y de carbono.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 6: Huella de carbono y energía incorporada espuma de poliuretano</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 7: Huella de carbono y energía incorporada EPS.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 8: Huella de carbono y energía incorporada cartón.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 9: Huella de carbono y energía incorporada resina epoxi</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 10: Huella de carbono y energía incorporada resina poliéster</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 11: Huella de carbono y energía incorporada fibra de vidrio</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 12: Productos y costes</i>	<i>91</i>

1. OBJETIVO DEL PROYECTO

Con este proyecto fundamentalmente se pretende mejorar o dar solución a los principales problemas que presentan actualmente los materiales utilizados en la fabricación de las tablas de surf.

Hoy en día existen muchas iniciativas para la fabricación de tablas de surf más respetuosas con el medio ambiente. La manera en que estas iniciativas afrontan este reto es mediante la sustitución de estos materiales por otros que aporten las mismas características mecánicas, pero que sean más sostenibles, así como la optimización de los procesos de producción. Un claro ejemplo es la *Ilustración 1* donde se puede observar una tabla de surf fabricada con botellas PET (tereftalato de polietileno).

Se diseñará un prototipo de una tabla de surf estudiando sus dimensiones, formas, los materiales a utilizar (intentando dar solución a los problemas que presentan los materiales utilizados en la actualidad) y el proceso de fabricación. Se estudiará todo el proceso de producción de una tabla de surf desde su inicio con la obtención de la materia prima pasando por todas las etapas de fabricación hasta el fin de su vida útil.

La tabla de surf está compuesta por 3 partes: Núcleo, fibra de vidrio y resina.

En cuanto a los núcleos hay dos líneas de trabajo actuales que buscan reducir el impacto ambiental: la primera, una línea orgánica, cuyo objetivo es sustituir el material por un material orgánico, sostenible y no-nocivo ni tóxico. Se habla ya de núcleos de algas, o incluso de cultivo de setas, etc... pero a día de hoy se encuentran en fase de desarrollo, y no se encuentra en el mercado. Y una segunda línea de trabajo que va a través del reciclaje y consiste en el reciclado de poliestireno expandido para la fabricación de un núcleo para una tabla de surf de epoxi. Se intentará seguir con la segunda línea de trabajo, buscando un material sostenible, reciclable...

A continuación, tenemos la fibra de vidrio. La fibra de vidrio no es excesivamente contaminante, ya que no es tóxica. Pero su posterior producción y manipulación sí lo son. Pocas iniciativas de tablas de surf ecológicas piensan realmente en esto y mantienen las cosas como están. Se estudiará si cabe la posibilidad de que sea sustituida por fibras naturales.

Y para finalizar, nos encontramos con el resinado. Las resinas son un material altamente nocivo y derivado del petróleo así como cargado de aditivos. Hoy en día existen resinas bio-based, extraídas de compuestos orgánicos y que cuentan con un porcentaje de aditivos reducidos a su más mínima expresión. El proceso de resinado clásico genera mucha resina de desecho, existen sistemas de resinado por vacío que reducen estos desechos en más de un 80%, pero no está introducidos en el mundo del surf.



Ilustración 1: Tabla de surf fabricada con botellas de PET.

1.1. OBJETIVOS EDUCATIVOS

Como alumno y estudiante de Grado de Ingeniería Mecánica en la EPSVG mi objetivo con este trabajo final de grado es el de demostrar y ser capaz de desarrollar un prototipo de una tabla de surf con todo lo aprendido durante esta etapa como estudiante, utilizando de esta manera los diferentes conocimientos adquiridos de cada asignatura cursada de la rama de Ingeniería Mecánica.

Siendo así capaz de poder desarrollar un proyecto el cual engloba el diseño, desarrollo, fabricación, estudio y elección de materiales. Teniendo siempre presente lo aprendido y aplicando los conocimientos necesarios en cada área.

Consiguiendo el total desarrollo de un proyecto final de grado.

1.2. OBJETIVOS PERSONALES

Como estudiante de un Grado en Ingeniería Mecánica y como deportista y surfista. Mi objetivo con el proyecto es el de poder juntar y trabajar en ambas pasiones, las cuales me motivan por separado y de las que siempre tuve la ilusión de poder trabajar algún día en conjunto.

Sabiendo lo que pide este deporte, lo que se busca en el surf, conociendo el mar, las olas y los diferentes tipos de tablas. Me gustaría ser capaz de poder diseñar un nuevo modelo, siendo consciente de lo poco sostenibles que son los materiales utilizados en la actualidad en la industria del surf y la relación que tiene este deporte con el medio ambiente. Dando así solución a un problema cada vez más presente, la contaminación mundial con todos los problemas que conlleva (calentamiento global, contaminación de ríos y mares, etc.).

2. ALCANCE

Con el estudio previo y los conocimientos necesarios se busca fabricar un prototipo que dé solución a los problemas que presentan los materiales en la actualidad.

La fabricación de este prototipo se realiza con el fin de hacer un estudio completo y real del diseño, sistemas de fabricación y nuevos materiales. Sabiendo que existe una cierta limitación a la hora de conseguir material, herramientas y en el proceso de fabricación.

El alcance inicial es el de realizar un prototipo que cumpla los requisitos y poder utilizarlo para la práctica personal de este deporte. Cabe la posibilidad de, que si la tabla de surf da buenos resultados en las olas, continuar con el estudio y ampliar información para su fabricación, con una mayor inversión en materiales y herramientas; dando así a conocer a la gente local el diseño presentado, sus ventajas y su funcionalidad en el mar pudiendo llegar a desarrollar una marca o un modelo de tablas de surf.

Lo más importante y lo que se buscará en el prototipo, es que guste, que tenga máxima calidad y rendimiento, que dure lo máximo posible; y por último que tanto los materiales como el proceso de fabricación sean respetuosos con el medioambiente.

3. PROBLEMÁTICA

El principal problema que presentan actualmente las tablas de surf son los materiales de los cuales están fabricados. Los materiales utilizados en la actualidad se popularizaron allá por los años 50.

A pesar de que los diseños si han ido variando y a día de hoy se sigue trabajando en desarrollar e innovar en sus formas y buscando diferentes modelos, los materiales utilizados durante los últimos 70 años siguen siendo los mismo. Esto se debe a que estas tablas ofrecen un gran rendimiento pero su problema está en las fases de su ciclo de vida (producción, uso, desechado), ya que son extremadamente contaminantes.



Ilustración 2: Contaminación de plásticos en el océano

Las tablas están compuestas por un núcleo que puede ser de espuma de poliuretano o espuma de poliestireno, envueltas con fibra de vidrio, y cubiertas en resina. Estas estructuras ofrecen un gran rendimiento pero presentan inconvenientes muy significativos: Peligros potenciales para la salud de las personas que trabajan con ellos, riesgos de contaminación medioambiental y efectos derivados de la producción de un bien no renovable.

Cada año se fabrican más de 400.000 tablas y cada tabla de Surf estándar emite a lo largo de su ciclo de vida (producción, reparaciones y desecho) alrededor de unos 300 kg de CO₂. Eso sin tener en cuenta el impacto que la toxicidad de las espumas y resinas sintéticas tienen en nuestras aguas, aire y suelos. Con lo que es un factor a tener en cuenta y con este proyecto se busca la reducción de estos valores ayudando a minimizar el impacto que genera en el medio ambiente.



Ilustración 3: Contaminación de CO₂

La contaminación por plásticos es un problema que está muy presente en la actualidad. Una reciente noticia en el periódico *La Vanguardia* nos dice que “Cada año más de 10 millones de toneladas de plástico acaban en los océanos y limpiar esta gran cantidad de residuos contaminantes supone un desafío a escala mundial. Estos desperdicios son mucho más evidentes en las costas, pero también se encuentran en el mar abierto, e incluso congelados en el hielo polar. La alarma de este problema está en el efecto nocivo que causan los microfragmentos resultantes de la erosión de los residuos plásticos. Estas partículas no solo ponen en peligro a la fauna marina, sino que están entrando en

la cadena alimentaria global, con consecuencias imprevisibles a largo plazo tanto para la vida animal como para nuestra salud” (Neus Palou 2018).

Es un problema al que hay que buscar remedio cuanto antes, ya que a medida que pasa el tiempo este va en aumento y crecen de forma exponencial los problemas en el medio ambiente y sus repercusiones directas e indirectas en la sociedad.

Otro problema presenta en la actualidad es la resistencia y las características de los materiales. Se buscan materiales de alta resistencia mecánica los cuales aseguren un buen funcionamiento de la tabla durante un tiempo prolongado. Esto actualmente no se puede garantizar ya que estos materiales son frágiles a los golpes y una mínima vía de agua puede dejar totalmente inutilizable una tabla de surf, reduciendo así su vida útil.

4. LA INGENIERÍA DE UNA TABLA DE SURF

4.1. HISTORIA DEL SURF

Los primeros días de surf transcurrieron en la Antigua Hawái. El surf era considerado un asunto profundamente espiritual, desde el arte de correr las olas en sí, a la oración por recibir buenas olas y los rituales que rodeaban la construcción de una tabla de surf. El surf no era sólo una actividad recreativa, sino que también era un ejercicio de entrenamiento para los jefes hawaianos y un medio de resolución de conflictos.

En 1778 una expedición británica al mando del Capitán James Cook, que navegaba desde Tahití a Norteamérica, se encontró casualmente con un grupo de islas desconocidas hasta entonces, y que posteriormente se llamarían Islas Hawái.

La expedición atracó en las islas a fin de trazarlas en el mapa y tomar nota de sus características, así como de la forma de vida y costumbres de sus habitantes. Pero durante su estancia en la isla de Hawái, una discusión con los indígenas motivada por el robo de una barca terminó con la muerte del Capitán Cook. El Teniente James King tomó el mando de la expedición, y en el diario de abordó anotó la primera referencia escrita sobre el surf que existe...

“... Uno de sus entretenimientos más comunes lo realizan en el agua, cuando el mar está crecido, y las olas rompen en la costa. Los hombres, entre 20 y 30, se dirigen mar adentro sorteando las olas; se colocan tumbados sobre una plancha ovalada aproximadamente de su misma altura y ancho, mantienen sus piernas unidas en lo alto y usan sus brazos para guiar la plancha. Esperan un tiempo hasta que llegan las olas más grandes, entonces todos a la vez reman con sus brazos para permanecer en lo alto de la ola, y esta los impulsa con una velocidad impresionante; el arte consiste en guiar la plancha de manera que se mantengan en la dirección apropiada en lo alto de la ola conforme esta cambia de dirección (Ilustración 4).

Si la ola dirige a uno de ellos cerca de las rocas antes de ser atrapado por la rompiente, es felicitado por todos. A primera vista parece una diversión muy peligrosa, pensaba que algunos de ellos tendrían que golpearse contra las afiladas rocas, pero justo antes de llegar a la costa, si se encuentran muy cerca, saltan de la tabla y bucean por debajo de la ola hasta que esta ha roto, mientras que la plancha es trasladada muchas yardas por la fuerza del mar. La mayoría de ellos es superado por la rompiente de la ola, cuya fuerza evitan buceando y nadando bajo el agua para mantenerse fuera de su alcance. Con estos ejercicios, de aquellos hombres se puede decir que son anfibios. Las mujeres podían llegar nadando al barco, permanecer la mitad del día en el agua y después regresar nadando a la orilla. El motivo de esta diversión es solo entretenimiento y no tiene que ver con pruebas de destreza, con buenas olas entiendo que debe ser muy agradable, al menos ellos muestran un gran placer en la velocidad que este ejercicio les da...” (King, 1778)

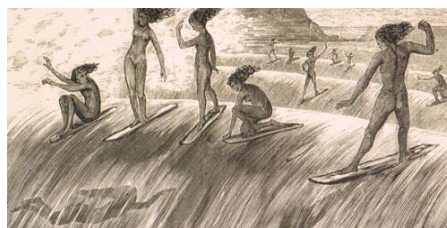


Ilustración 4: Primer documento gráfico que se tiene de este deporte, ilustrado por John Webber

En el momento en el que los europeos llegaron a Hawái el surf era ya parte muy importante de la cultura y estilo de vida Hawaiano. Los nobles se ganaban el respeto de los demás demostrando sus aptitudes sobre las olas, estos tenían playas privadas en las que tan solo ellos podían surfear. Había dos tipos de tablas de surf en estos momentos, un "Olo" (cabalgada por los jefes o los nobles conocidos como los 'Alii') y un 'Alaia' (cabalgada por los plebeyos). Las tablas de madera se hicieron usando el Wili Wili, la Ula y el árbol de Koa. La longitud de la tabla de surf variaba dependiendo la clase social de quién la cabalgaba. Los nobles surfeaban de pie en tablas que podían medir hasta 7 metros (*Ilustración 5*) el pueblo llano, en cambio, surfeaba tumbado o de rodillas en tablas de hasta 3 metros de longitud.



Ilustración 5: Noble con su tabla 'Olo'

A pesar de que fue en Hawái donde se encontró el surf más evolucionado, se piensa que no fueron los que lo originaron. Los habitantes de Hawái eran emigrantes de otras islas del Pacífico como Polinesia, donde también existía el surf, aunque menos evolucionado. Al llegar los primeros emigrantes a Hawái llevaron consigo la cultura del surf que ya existía en Polinesia y la desarrollaron hasta que formara parte importante de su cultura.

Tras la llegada en 1778 de los primeros europeos siguieron 150 años de declive en la religión, costumbres y cultura hawaiana, hasta casi su desaparición, el surf se vio igualmente afectado. En tan solo 50 años se impuso la cultura y forma de vida europea, desplazando hasta su total extinción a la hawaiana, y casi también extinguen a la población con la llegada a la isla de enfermedades europeas desconocidas para ellos y contra las que sus defensas no podían hacer nada.

Fue en 1820, con la llegada de los misionarios cristianos calvinistas, cuando se eliminó casi por completo cualquier vestigio de cultura indígena hawaiana y se sustituyó por una cultura de "modestia, trabajo y religión". Todo era considerado inmoral, incluso el surf al ser un entretenimiento lúdico fue considerado poco apropiado.

A partir de 1840 llegaron a Hawái una serie de escritores y periodistas atraídos por lo que habían leído de estas islas. Estos escritores se percataron de la estricta moral a la que eran sometidos los indígenas, y lo denunciaron públicamente. A su vez contaron al mundo las costumbres propias de los hawaianos, entre ellas el surf, que empezó a conocerse de este modo en occidente.

En 1898 un grupo de empresarios junto con los marines americanos abolieron la monarquía hawaiana, sin demasiada resistencia por parte de los nativos, y poco después Estados Unidos se anexionó las Islas Hawái como parte de su territorio.

A principios del siglo XX la influencia de los misioneros sobre las islas comenzó a declinar; los hawaianos junto con los nuevos colonos europeos y americanos comenzaron a surfear de nuevo.

El personaje clave para que el surf se conociera en todo el mundo fue el hawaiano Duke Kahanamoku, un gran surfista y campeón olímpico de natación en varias ocasiones. Entre 1910 y 1920 Duke viajó por el mundo, y allá donde iba hacía la demostración de surf, incluso en ocasiones construía en directo la tabla con la que posteriormente cabalgaría las olas. Sus demostraciones causaron gran impacto en los asistentes, y sirvió de mecha para la gran expansión en el surf que vendría después.

En la década de los '70 el surf da el salto a Europa y nacen las grandes marcas como Quiksilver, Billabong, O'Neill y Rip Curl, también se estrena la película "El Gran Miércoles".

Los '80 es la década de surfistas como Tom Carroll y Tom Curren (*Ilustración 6*).



Ilustración 6: Tom Curren surfando

En los '90 el estilo de surf cambia con nuevas maniobras como los 360 y los aéreos.

Y el siglo XXI empieza fuerte. La revolución de Internet ha afectado también al surf, se pueden ver las playas en directo y conocer predicciones de olas on-line hasta con una semana de adelanto. Los nuevos talentos como Jeremy Flores o Jordy Smith prometen llevar al surf a otro nivel.

4.2. EVOLUCIÓN DEL SURF

Las tablas de surf fabricadas actualmente han recorrido un largo camino para llegar a ser tan buenas y tener tanta calidad. Si algo está sujeto a la acción del hombre, ese algo va a evolucionar y cambiar irremisiblemente. Las tablas no han sido una excepción, más bien todo lo contrario, y su evolución a lo largo de los años resulta espectacular.

El diseño de tabla de surf siempre ha sido algo muy personal. Los shapers tienden a ser personas que practican surf por sí mismos, y en el diseño de las tablas está tan involucrada la obra de ingeniería, como el amor por el surf. Los surfistas profesionales trabajan en estrecha colaboración con los shapers, los formadores, ya que cada surfista cabalga las olas de modo diferente, y ellos saben mejor que nadie cómo necesitan que se fabrique su tabla de surf. El proceso de diseño de una tabla de surf siempre ha sido un caso de prueba y error. Una plantilla se diseña, y luego se experimenta con ella en el agua, a continuación, se considera la retroalimentación y las alteraciones se realizarán en consecuencia.

El cambio más radical en el diseño de tablas de surf fue en 1926, cuando uno de los nombres más famosos de la historia del surf, Tom Blake diseñó la primera tabla de surf hueca (*Ilustración 7*). La tabla fue construida de secoya, tenía cientos de agujeros perforados en ella y fue encerrada con una tabla delgada de madera por encima y debajo de la tabla. La tabla de surf hueca de Blake logró ser un gran éxito y se convirtió en la primera tabla de surf de producción masiva en 1930.



Ilustración 7: Diseño tabla de surf hueca de Tom Blake

Hasta comienzos de los años 30 las tablas eran en su mayoría de madera de secoya, que aunque resultaba muy pesada era también muy resistente al agua. Se fabricaban planchas del orden de los 4 metros en las que maniobrar era casi utópico.

En 1932 la madera de balsa de América del Sur se convirtió en un material muy popular para la construcción de tablas de surf. Las nuevas tablas de madera de balsa sólo pesaban alrededor de 13 a 18 kg, un valor bastante inferior al peso de las tablas de secoya (41 a 45 kg). Las tablas tenían varias capas de barniz que se les aplicaba a prueba de agua. Esta reducción de peso fue un gran paso adelante en el diseño de la tabla, y cada vez pasó a tener más demanda. El problema en ese momento era que la madera de balsa era difícil de controlar en grandes cantidades, por lo que las tablas se construyeron a partir de ambas maderas, balsa y secoya, gracias a un pegamento impermeable recientemente inventado. Ambas maderas tienen diferentes propiedades, la balsa es de peso ligero y la secoya es más dura y durable. Entonces, se construyó el centro de la tabla de balsa y los cantos de secoya más dura para fortalecer la tabla.

En 1934 un grupo de surfistas en Hawái comenzaron a experimentar con el tamaño de la cola de la tabla de surf, rebajando y eliminando partes de la cola y los cantos de las tablas de surf, para conseguir deshacerse del tipo de cola cuadrada. Esto dio a la tabla de surf más maniobrabilidad, permitiendo maniobras más radicales. Estas nuevas tablas fueron llamadas "hot Curl", debido a que las tablas permitieron por primera vez al surfista, surfear en el rizo de la ola, e introducirse en el tubo.

Unos años más tarde, en 1935 Blake creó la 'aleta fija'. Esta fue una pequeña aleta unida a la parte inferior de la tabla, a la altura de la cola para que los surfistas pudieran realizar mejores maniobras y lograr más estabilidad encima de la tabla.

El final de la Segunda Guerra Mundial abrió nuevas posibilidades en el diseño de las tablas de surf. Muchos nuevos materiales se volvieron disponibles a través de los avances en la tecnología durante la guerra. La fibra de vidrio fue el más significativo de ellos, también hubo plástico y espuma de Poliestireno. La primera tabla de surf de fibra de vidrio fue construida por un hombre llamado Pete Peterson en 1946. Esta tabla de surf era un molde de plástico hueco, con un larguero de secoya (un trozo de madera que recorre el centro de la tabla de surf) y se sella con cinta de fibra de vidrio.

Alrededor de este tiempo un hombre muy importante en la historia de surf llamado Bob Simmons hizo su primer uso completo de la tecnología de la fibra de vidrio. Su primer intento fue una tabla de surf llamada el "sandwich" (*Ilustración 8*). Esta tabla tenía un núcleo de espuma de Poliestireno, encerrado en una capa delgada de madera contrachapada, los cantos de madera de balsa y revestida de fibra de vidrio.



Ilustración 8: Tabla de surf "sandwich" de Bob Simmons

En la década de los '70 el surf da el salto a Europa, se inventa el traje de neopreno y se empiezan a usar 2 quillas en las tablas.

En los '80 aparece las tablas de tres quillas, y los diseños se van pareciendo a lo utilizado hoy en día. En los '90 se introducen las quillas desmontables.

A partir del siglo XXI los nuevos materiales hacen las tablas más ligeras y resistentes, innovando y buscando siempre los materiales más punteros. Hasta estos tiempos la fabricación de las tablas siempre fue manual, en los últimos años gracias al desarrollo, innovación y el gran avance de la tecnología se pueden ver máquinas encargadas de realizar el corte del diseño del interior de las tablas, los restantes pasos se siguen efectuando de manera manual.

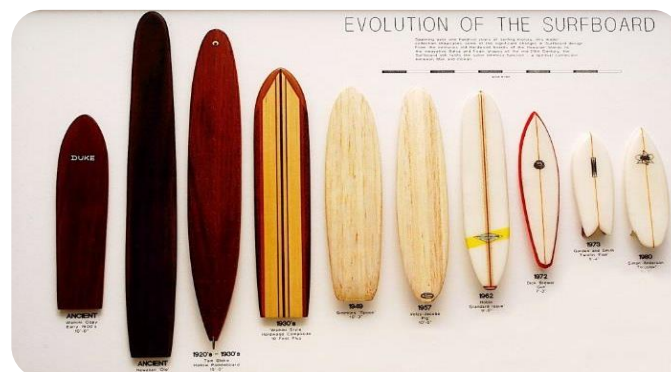


Ilustración 9: Evolución de las tablas de surf a lo largo de la historia

4.3. ESTADO DEL ARTE

Se pueden encontrar diferentes definiciones sobre las tablas de surf, una de ellas y la más general dice "plancha sobre la que se practican diferentes deportes", da una idea de lo que es una tabla de surf, que ira variando en forma, estructura, materiales...

En la actualidad existen diferentes diseños de tablas de surf, la elección de uno u otro depende de la anatomía del surfista, del nivel y de las características de las olas a surfear (tamaño, fuerza...), etc.

Actualmente una gran parte de las tablas de surf se fabrican de dos formas, están compuestas por un núcleo (poliuretano o poliestireno), fibra de vidrio y la capa exterior se cubre con resinas (epoxi o de poliéster).

La fabricación de las tablas es manual. El pre-shape del núcleo (interior) puede ser manual, con máquinas de control numérico a partir de un diseño en programas CAD/CAM o con máquinas de corte industrial. El posterior shapeado, laminado, glaseado y acabado final se realiza todo de manera manual, en la actualidad no existen máquinas ni líneas de fabricación capaces de realizar dicho trabajo ya que requiere de una alta precisión y se deben tener en cuenta diferentes parámetros a la hora de realizarlo.

4.4. USUARIO DE TABLAS DE SURF

El estilo y el tipo de usuario en el mundo del surf son muy variados. Toda esta variedad se puede clasificar en seis niveles:

1. **Principiante:** Aquellos que están comenzando en el mundo del surf y que con espumas u olas pequeñas ya tienen suficiente.
2. **Intermedio:** Pueden surfear la pared de la ola y empiezan a realizar sus primeras maniobras con algo de control.
3. **Intermedio-avanzado:** Maniobras con control y potencia aceptable.
4. **Avanzado:** Controla la tabla y maniobra sin problema en casi cualquier ola.
5. **Muy avanzado:** Realiza maniobras complicadas casi sin esfuerzo con un buen control y una gran potencia.
6. **Pro:** Todo tipo de olas realizando todas las maniobras posibles (giros, tubos, etc.)

En el mundo del surf existen todo tipo de usuarios, desde principiantes de apenas 2 o 3 años de edad los cuales se inician en este deporte hasta personas de avanzada edad.

Por lo general los usuarios principiantes y amateur utilizan tablas más voluminosas que los profesionales, facilitando así su actividad en el agua. Buscan pasar un buen rato y realizar una actividad física dejando en un segundo plano la evolución como surfista. Los profesionales dedican su vida a ello, tienen sus entrenamientos, su alimentación controlada y tablas especiales para su estilo y medidas para poder sacar el máximo rendimiento en cada ola.

En la tabla inferior (*Tabla 1*) se pueden observar la relación del volumen (L) con el peso (kg) y el nivel del surfista.

Peso (kg)	Habilidad	Volumen (L)
55	Principiante	55
70	Principiante	60
80	Principiante	67
55	Intermedio	35
70	Intermedio	40
80	Intermedio	48
55	Avanzado	26
70	Avanzado	29
80	Avanzado	34

Tabla 1: Relación entre peso (kg), volumen (L) y nivel del usuario

El volumen y tamaño de las tablas es inversamente proporcional al nivel del surfista, ya que cuanta más pequeña es la tabla requiere un nivel mayor tanto de surf como físico.

4.5. TIPOS DE TABLAS DE SURF

Las tablas de surf están fabricadas de muchas formas y tamaños y de estas dimensiones depende la clasificación de las mismas. Las principales medidas utilizadas para clasificar las tablas son el largo, el ancho y el grosor, las cuales afectan y de ellas depende en gran medida su rendimiento y el de los surfistas cuando están en el agua.

Los tipos más comunes de tablas de surf en la actualidad son: Stand Paddle Board, Longboard, Gun (arma), Malibú, Evolutiva, Shortboard, Retro, Fish (pez) y Town-in. Cada una está dirigida a diferentes estilos, según el tipo de olas, el nivel de los surfistas... En la *Ilustración 10* se muestra la familia de tablas al completo, desde las más pequeñas a las más grandes.

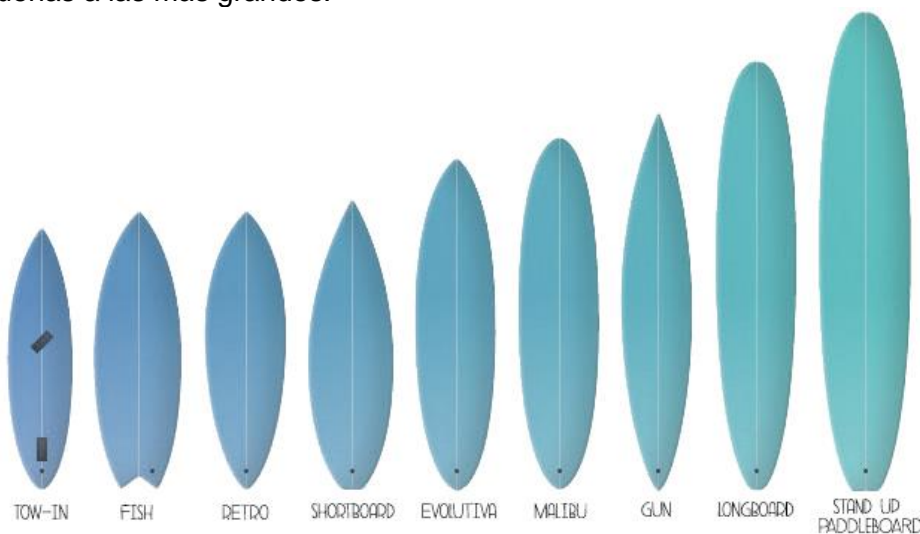


Ilustración 10: Clasificación actual de las tablas de surf

Stand Paddle Board

Es la tabla de surf más grande. Su tamaño, anchura y grosor le permiten soportar con estabilidad el peso de una persona de pie en cualquier circunstancia, tanto sobre la ola como fuera de ella. En esta enorme tabla, el surfista lleva un remo flexible para propulsarse y también para maniobrar en la ola. La Stand Paddle Board es una excelente y divertida opción para los días de surf con olas pequeñas y poca fuerza.



Ilustración 11: Stand Paddle Board

Longboard

Es una tabla de surf grande de punta redonda, también conocida como 'tablón'. Inspiradas en los 'troncos' hawaianos, son las primeras tablas de surf, las que se usaron en los comienzos de la expansión del surf. La Longboard es ideal para olas pequeñas y medianas. También para olas grandes si el surfista tiene experiencia.



Ilustración 12: Longboard

Gun

Las características de este tipo de tabla de surf, su punta y cola afilada, así como su alargado diseño, hacen que la aceleración mientras coges olas sea mayor y aumentan su estabilidad, lo que las hace perfectas para surfear olas grandes. La Gun es una tabla de surf apropiada solo para surfistas expertos.



Ilustración 13: Gun

Malibú (Mini-Longboard)

A pesar de ser una tabla de surf grande y de punta redondeada como la Longboard, es algo más pequeña y maniobrable, permitiendo llevar a cabo las maniobras típicas de su hermana mayor. Por su tamaño y grosor, la Malibú es una buena opción para surfistas principiantes, pero también para los días con olas pequeñas y de poca fuerza, a pesar de que ser un surfista experimentado



Ilustración 14: Malibú (Mini-Longboard)

Evolutiva

Es un tipo de tabla de surf de mayor tamaño y mayor grosor que las Shortboards, lo que les da una flotabilidad y estabilidad muy adecuada para surfistas principiantes. Pero por su maniobrabilidad, pueden servir también para surfistas más avanzados con ganas de divertirse girando sobre las olas. Además, su diseño con la punta ligeramente redondeada hace que en ellas sea más fácil remar y surfear las olas desde el primer día. La Evolutiva es la tabla de surf más indicada para iniciarse en el deporte del surf.



Ilustración 15: Evolutiva

Shortboard

Esta tabla de surf es el modelo más común y con un diseño más evolucionado. Son tablas versátiles y adecuadas para todas las condiciones de olas, esto se debe a que ofrecen un buen equilibrio entre velocidad y maniobrabilidad. La Shortboard es el tipo de tabla de surf más técnico, por lo que se necesita un nivel medio de surf para sacarle todo el rendimiento.



Ilustración 16: Shortboard

Retro

Gruesa, corta y con mucha superficie delantera, este es un tipo de tabla de surf inspirada en los diseños de los años 70, la época dorada del surf, con formas que pueden resultar algo extrañas, algunas acabadas con cola de golondrina y con 1, 2, 3 y hasta 4 quillas. La Retro se mueve bien en olas pequeñas o medianas con poca fuerza, pero no es apropiada para olas grandes o muy huecas.



Ilustración 17: Retro

Fish

El modelo Fish se caracteriza por ser ancho, corto, con poca curva y cola de golondrina, siendo un tipo de tabla de surf diseñado especialmente para navegar olas con poca fuerza, ya sean pequeñas o medianas debido a que planean muy bien sobre ellas. Es muy similar a algunos modelos de las tablas tipo Retro. Con respecto a la Shortboard la Fish sale ganando, ya que su mayor grosor facilita la remada y la maniobrabilidad, a la vez que permite deslizarse mucho sin necesidad de que la ola tenga fuerza. Sin embargo, no funciona bien en olas grandes o huecas.



Ilustración 18: Fish

Tow-in

Este tipo de tabla de surf está diseñado para coger olas mientras eres remolcado por una moto acuática. La Tow-in es la tabla más pequeñas y estrecha de todas las tablas de surf y lleva 'footstraps' para mantenerla sujeta a los pies en todo momento, lo que le da un control perfecto en las maniobras y una gran estabilidad en olas grandes. Para usar este tipo de tablas de surf se necesita poseer un nivel medio o alto y, por supuesto, a alguien que te remolque con su moto.



Ilustración 19: Town-in

4.6. ANATOMÍA, COMPOSICIÓN Y MATERIALES

Una vez clasificados los tipos de tablas se estudiarán sus principales dimensiones y formas.

Elegir las medidas de una tabla de surf no es nada fácil, depende de muchos factores, como son la edad, la frecuencia con la que se surfea, el tipo de ola a surfear, el estado de forma del rider, el peso, el nivel...

4.6.1. FUNDAMENTOS TÉCNICOS DE UNA TABLA SURF

Para shapear una tabla es necesario entender que esto significa un conjunto de detalles muy sutiles. Cualquier modificación, por menor que parezca, puede alterar totalmente el desempeño de la tabla.

El shape puede dividirse en seis aspectos: shape, plano, rocker, espesor, bordes y quillas. Cada uno de ellos tiene distintas influencias en diferentes partes de la tabla. En

la *Ilustración 20* se ven reflejadas las diferentes partes de trabajo de una tabla de surf (A, B o C). Dependiendo de la zona se trabajan unos u otros aspectos.

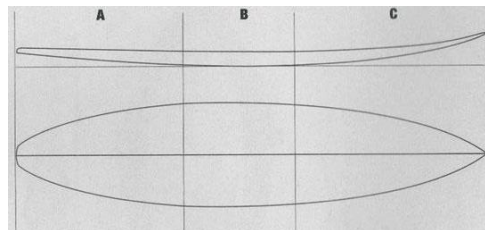


Ilustración 20: Partes de trabajo en una tabla de surf

La zona A es la encargada de la dirección de la tabla, es la parte que tiene más acción sobre las maniobras ya que es la que más contacto tiene con el agua, la zona B es la encargada de unir la parte A con la C, aquí se define el punto máximo de anchura (wide point), la espesura, el balance de flujo de agua y direcciona los movimientos del pie delantero. Por último la zona C es la parte de menos influencia ya que tiene un menor contacto con el agua, es la entrada de flujo de agua.

A continuación se comentaran diferentes dimensiones, partes y formas de la tabla las cuales son necesarias conocer para entender el diseño completo de una tabla de surf.

Tamaño: El tamaño de la tabla está determinado por el cuerpo del surfista y por el tamaño de la ola que será surfada. También se tendrá en cuenta el nivel del surfista. En la *Ilustración 21* e *Ilustración 22* se observa la relación aproximada que existe entre la altura de las olas, la del surfista y la de la tabla. Hay que hacer una combinación de ambas gráficas más el nivel y los gustos del surfista para crear el diseño más apropiado.

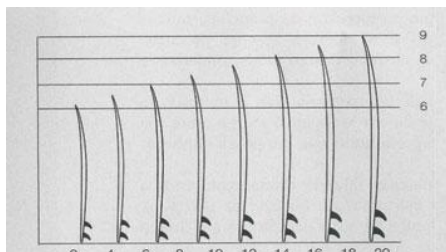


Ilustración 21: Altura tabla de surf (pies) en función del tamaño de la ola (m)

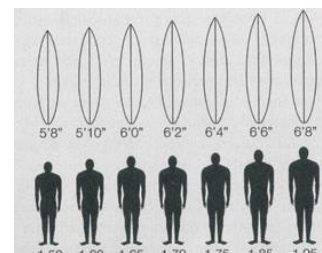


Ilustración 22: Longitud de la tabla de surf (pies) en función de la altura del surfista (m)

Anchura: Es el punto más ancho de la tabla de canto a canto, cuanto más ancha más estable y mejor remada. Se utilizan tablas anchas para aprender y en olas fofas y flojas y tablas estrechas cuando se alcanza un nivel aceptable y en olas potentes y huecas. El ancho se mide en pulgadas (2,54 cm). Las medidas de ancho de las tablas de surf oscilan entre 20-22" (0,5-0,55 m) para principiantes, mientras para surfers avanzados el ancho esta entre 17" y 20" (0,43-0,5m).

Grosor: El grosor de una tabla de surf se mide en el punto más gordo de la tabla entre la parte superior y la inferior. El grosor de una tabla es muy importante porque influye mucho en la remada, la flotabilidad, el agarre... Este punto suele encontrarse en medio de la tabla, y va disminuyendo a medida que nos acercamos a las extremidades. Se utilizan tablas gruesas para olas pequeñas o en los inicios y tablas más finas conforme se sube de nivel. El grosor se mide en pulgadas.

Outline: El outline es la línea externa que define la tabla. Existen varias medidas para determinar el outline de una tabla. Un outline paralelo hacia el nose, nos permite salir

de los giros más rápido, en cambio un outline más redondo con curva continua nos da un surfing más tranquilo.

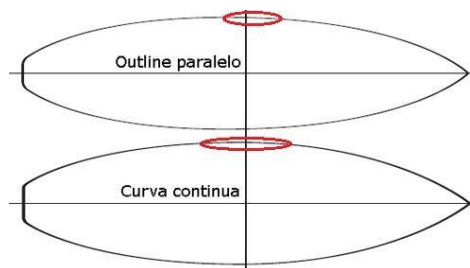


Ilustración 23: outline tabla de surf

Wide point: Es el punto donde se encuentra la anchura máxima de la tabla. Si está detrás del centro de la tabla, deja una combinación de bordes más rápidos y produce maniobras más suaves. Si coincide con el centro de la tabla, hará un equilibrio entre maniobra y dirección. En cambio si está por adelante del centro de la tabla, ésta se fijará más al agua y las maniobras serán más abiertas.

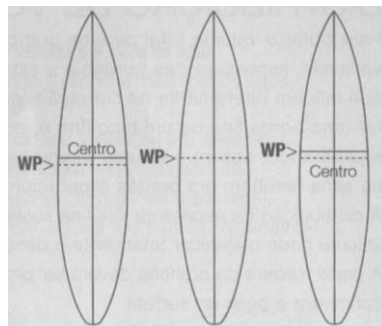


Ilustración 24: Wide point tabla de surf

Tail o cola: Es la parte trasera de la tabla de surf. Su forma es muy importante ya que influye en el volumen total de la tabla, los giros y la estabilidad. Cuanto más ancha es la cola más empuje y velocidad tendrá la tabla, cuanto más estrecha más agarre. En la *Ilustración 25* se observan distintos tipos de cola más comunes. Dentro de estas formas hay múltiples variantes de cada una.

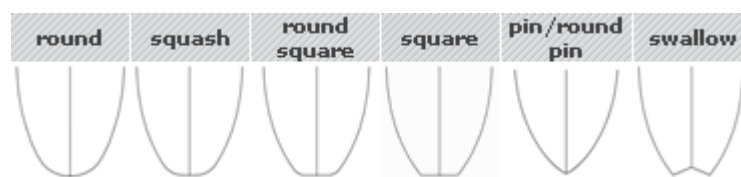


Ilustración 25: Tipos de colas de las tablas de surf

Nose o punta: En las tablas convencionales la punta no tiene diferencias significativas, dado que es la parte que menor contacto tiene con el agua. Para un Longboard no es lo mismo, ya que la forma de la punta hace que gane en área. Una punta con mayor área facilita la entrada en la ola y la estabilidad, pero dificulta la maniobrabilidad.

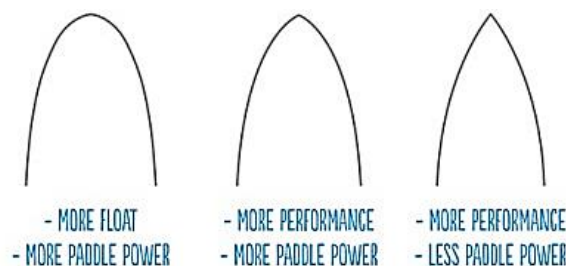


Ilustración 26: Tipos de nose en una tabla de surf

Rocker: Es uno de los aspectos más importantes en el diseño de la tabla, pues controla el flujo de agua. Cuanto más acentuada sea la curva, menor será el flujo de agua (más lenta será la tabla) y tendrá mayor maniobrabilidad. Cuando menor sea la curva, mayor será el flujo de agua (más rápida será la tabla) y será menos maniobrable.

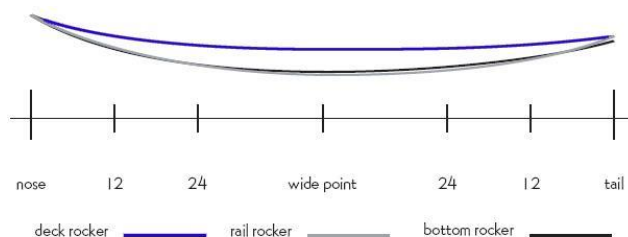


Ilustración 27: El rocker en una tabla de surf

Como refleja la *Ilustración 27* existen 3 curvas diferenciadas en una tabla de surf, la que se encuentra por encima (deck rocker), por abajo (bottom rocker) y los cantos (rail rocker).

Contornos:

- **Superior o deck:** Es la forma que toma la tabla en su parte superior. Para los contornos de la parte de arriba existen dos opciones: abombado o plano. Con la forma **abombada**, el volumen del rail será menor, lo cual facilita las transiciones de canto a canto. La forma **plana** hace que la tabla sea más estable, pero requerirá de un mayor esfuerzo para poder hacer el balanceo de canto a canto.

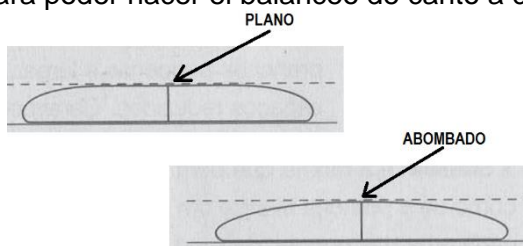


Ilustración 28: Tipos de deck en las tablas de surf

- **Inferior o bottom:** Es la configuración de la parte de abajo de la tabla en sentido transversal, existen 4 diseños principales (*Ilustración 29*):



Ilustración 29: Principales diseño del bottom de una tabla de surf

- **En V:** Facilita el cambio de bordes, dejando la tabla más suelta. Si fuera utilizado de manera excesiva en una parte inadecuada de la tabla puede

perder velocidad y ejercer presión en las maniobras. Normalmente se utiliza entre las quillas, sobre todo en tablas con bastante volumen.

- **Cóncavo:** Es lo opuesto al fondo en V. Aumenta la presión y la velocidad del flujo de agua. Deja la tabla más dura, precisando mayor curva para no perder maniobrabilidad. Utilizado en tablas finas a la altura del Wide point.
- **Doble cóncavo:** Puede ser aplicado en cualquier tipo de fondo, agregando presión y velocidad.
- **Fondo plano:** Es un intermedio entre el cóncavo y el fondo en V. Aumenta la presión del V en el cambio de bordes de un fondo cóncavo. Normalmente se utiliza desde el Wide point hasta la punta en todo tipo de tablas, ya que se adapta a una gran cantidad de condiciones.

Si se usan cóncavos múltiples (es común el doble cóncavo en el centro de la tabla, y cóncavo simple en el tail) de forma eficiente, el agua circula bien bajo la tabla en posición normal y sale hacia las quillas, bajo el pie trasero del surfer. Cuando se gira con el rail (canto) el agua se comprime y es expulsada por el camino que marcan los cóncavos hacia el tail, este fenómeno acentúa la aceleración en los giros.

Foil: Es el cambio de volumen en el conjunto global de la tabla. El foil estirado hacia adelante da giros más largos, amplios y más control, en cambio un foil enfocado hacia atrás permite giros más cortos, precisos y complicados con el punto de control entre las quillas. Para obtener el volumen total de una tabla es necesario tener en cuenta las siguientes variables: espesor de los bordes y el espesor del alma. Son dos variables que influyen directamente la flotación, permitiendo a una tabla parecer más fina por tener un borde fino o una punta fina, y por el contrario el espesor de un alma grueso sirve para equiparar el volumen. Por otra parte las tablas finas en el alma resultan en bordes proporcionalmente más gruesos. La distribución del espesor influye en la flotabilidad y la sensibilidad. La parte trasera de una tabla deberá tener mayor volumen de manera proporcional, debido a que la mayor parte del peso del surfista se concentra en esa zona.

Rails o cantos: Los cantos conectan todos los puntos de la tabla, dejan salir y entrar el agua bajo la tabla. Sirven para cortar el agua, controlar los giros y la salida del agua. Estos son redondeados desde el nose hasta la entrada (parte de la tabla, cerca del nose, donde la tabla entra en el agua). Esta forma suave ayuda en las transiciones canto a canto. Es importante que los cantos de la tabla tengan el suficiente volumen para no quedarse “atascados” en la cara de la ola cuando les ponemos peso para hacer un giro amplio. Cuando los cantos son afilados se agarran más a la pared de la ola pero cuesta más girar. Las principales formas de los cantos son:

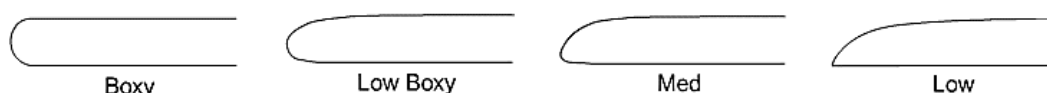


Ilustración 30: Tipos de cantos de una tabla de surf

Edge: Es el punto donde se encuentran el fondo y el borde. Controla la salida del agua y de ello depende la sensibilidad, velocidad, aceleración, proyección y dirección. Hay dos tipos principales:

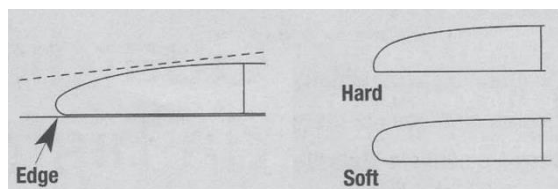


Ilustración 31: Tipos de edge de una tabla de surf

- **Hard:** Agrega proyección, velocidad, dirección y aceleración, dejando la tabla más dura. Se recomienda usarlo solamente en la cola, para no perder movilidad.
- **Soft:** Aporta movilidad y facilita los cambios de borde. Cuando se utiliza en el tail pierde proyección y velocidad, por eso debe ser utilizado desde la punta hasta el wide point, y progresivamente ir mutando a hard.

Quillas: La función de las quillas es absorber la energía del flujo del agua, dando dirección y agregando precisión y velocidad. Las quillas deben ser proporcionales a la anchura de la cola y al volumen general de la tabla. La mayoría de tablas del tipo Short llevan tres quillas, que suelen ser desmontables, pero también hay tablas con dos (Twin fin), una (Single fin) e incluso con cuatro o hasta 5 quillas. El sistema más común es FCS, pero también existen otros como Future Fins. Las quillas pueden ser de plástico o de fibra de carbono.



Ilustración 32: Configuración quillas: Single fin, Twin fin y tres quillas

Si el juego de tres quillas se pone muy al extremo del tail, dará una sensación de mucho control, pero va a costar más clavar los cantos en la zona de la cola. Si están muy adelantadas se podrán clavar los rails con más facilidad, aunque es la pericia del surfer que tiene que demostrar poder usar una tabla con las quillas así.

El sistema de las quillas se compone por las fijaciones, estas pueden ser tapones, cajetines... Existen diferentes modelos, diseños y maneras de montarlas. En la *Ilustración 33* se diferencian los dos cajetines de quillas más utilizados en la actualidad.



FCS

Future Fins

Ilustración 33: Sistema de sujeción de quillas FCS y Future Fins

A continuación en la *Ilustración 34* se ven reflejadas las diferentes partes de la tabla que se acaban de mencionar.

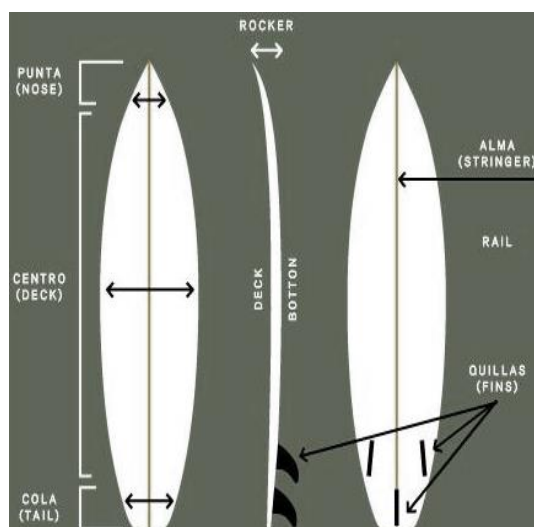


Ilustración 34: Partes de una tabla de surf

Un valor importante a tener en cuenta en una tabla de surf es el volumen de la misma, no se ha mencionado anteriormente por que no es una medida que se pueda observar o calcular como las anteriores, requiere de algo más de trabajo y precisión. Las medidas externas de una tabla son un buen punto de partida, pero la distribución del foam a través de todo el outline puede tener más impacto que ellas sobre cómo va a funcionar una tabla de surf. Es más, a la hora de elegir una tabla hay surfistas que anteponen los litros a las medidas clásicas de tamaño, ahora veremos por qué:

Volumen: Desde que los programas tipo CAD se han incorporado a los talleres de shape, el volumen se ha convertido en algo más medible y una parte integral del proceso de diseño. De hecho ahora el volumen es esencial para establecer cuál es la tabla correcta para el surfer dependiendo de su edad, habilidad y el tipo de ola donde surfea más.

La introducción del CAD en los talleres ha permitido a los shapers refinar el volumen sin tener que hacer uso de tanques de flotabilidad. La relación entre volumen y shape es compleja, puede parecer más grande pero no significa que la tabla flote más. Un 6'2" puede tener menos volumen que un 5'4" aunque sea más grande a simple vista, al igual que puede haber dos tablas con las mismas medidas principales pero con distinto volumen, como es el caso de la *Ilustración 35*.



Ilustración 35: Relación entre medidas y volumen de una tabla de surf

Para calcular el volumen aproximado necesario para un surfer existen diferentes métodos, los dos a destacar serían:

- **Calculadora online:** Son calculadoras en las cuales introduciendo el peso (kg), el nivel de surf, el estado físico y el tipo de tabla, da un valor aproximado del volumen ideal. Alguna también incluyen el tipo de olas a surfear y la frecuencia de uso de la tabla para dar un resultado con mayor exactitud. En la *ilustración 36* se observa una prueba realizada para un surfer de 82 kg.

TU PESO EN KG.

NIVEL DE SURF

NIVEL DE FITNESS

TIPO DE TABLA

El volumen es de 32.0 litros.

Ilustración 36: Calculadora online del volumen (L) de una tabla de surf

- **Gráficas o tablas:** Existen diferentes tipos de tablas en función del shaper, la marca y modelo de las mismas, etc. Un ejemplo sería la *Ilustración 37* en la cual dependiendo el nivel de surf (color) y el peso del surfista (kg) se da a conocer un valor aproximado del volumen (L) necesario.

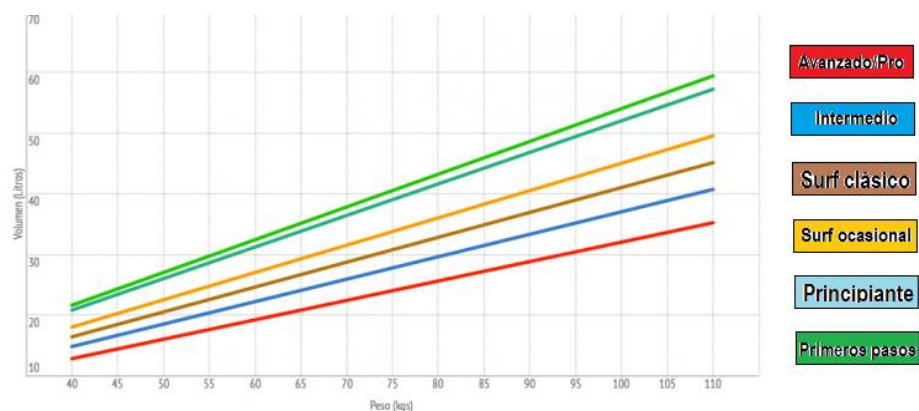


Ilustración 37: Gráfica para conocer volumen (L) en función del nivel y el peso (kg) del usuario

Una vez conocidas todas las medidas y la fisionomía de la tabla se verá dónde se encuentran y como se conocen estas medidas cuando se observa una tabla de surf. Como se ha comentado anteriormente las medidas principales son: largo, anchura máxima, grosor en el punto medio y por último el volumen.

El shaper cuando fabrica una tabla apunta las medidas en la parte inferior (bottom) de la tabla de surf, estas medidas son las que definirán el diseño de la tabla. Existe una forma internacional de apuntar estas medidas, en la *Ilustración 39* se refleja cómo y cuáles son las medidas. En la *Ilustración 38* se observa un ejemplo de cómo sería el orden y donde estaría situado en la tabla.

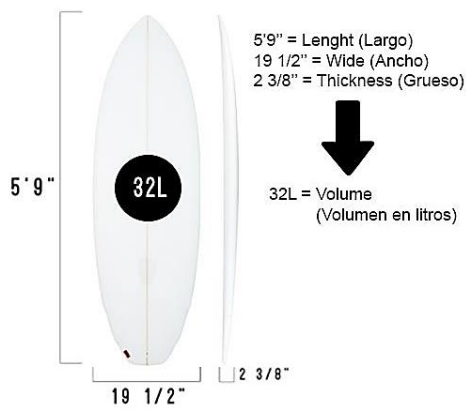


Ilustración 39: Medidas de una tabla de surf



Ilustración 38: Ubicación y orden de medidas

4.6.2. COMPOSICIÓN Y MATERIALES

Conocidas las medidas y formas de una tabla surf se estudiará la composición en cuanto a partes y materiales. Principalmente una tabla está compuesta por 3 elementos (plancha, quillas e invento). Las quillas y el invento son piezas que se compran fabricadas. La plancha es lo que se conoce como tabla en sí, esta está compuesta por el núcleo (interior) el cual está recubierto por una capa que en la mayoría de los casos está compuesta por fibra de vidrio y una resina (epoxi o poliéster). En la *ilustración 40* se pueden observar los componentes de una tabla de surf.

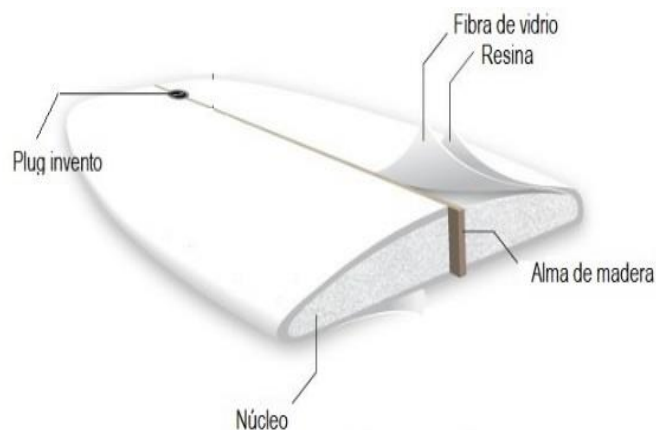


Ilustración 40: Composición de una tabla de surf

A continuación se comentará la función y la importancia de cada parte de la tabla y se estudiarán los materiales por los cuales están compuestas; desde su obtención, principales propiedades y su fin de vida útil (reciclaje en caso de que este sea posible, reutilización, vertederos...).

4.6.2.1. NÚCLEO

El foam es la base de la tabla de surf, es una espuma muy ligera y maleable con un refuerzo de madera (alma) que recorre el centro longitudinalmente para aumentar la rigidez de la tabla. Un buen foam debe de soportar una buena resistencia a la presión, es lo que hace que la tabla de surf se abolle más o menos, debe de ser ligero, lo más blanco posible, y fácil de trabajar. Es imprescindible para la flotabilidad de la tabla.

En la fabricación de tablas de surf, se utilizan dos tipos de foam dependiendo de la resina que se vaya a utilizar, son dos núcleos tipo espuma: EPS (espuma poliestireno expandido) o XPS (espuma de poliestireno extruido) y PU (espuma de poliuretano).

Las tablas de surf laminadas con resina epoxi pueden tener como núcleo ambos, tanto EPS o XPS como PU. Por el contrario, las tablas laminadas con poliéster solo pueden utilizar como núcleo el PU, ya que el EPS o XPS en contacto con el poliéster se derrite debido al estireno que el contiene el PS.

Su fabricación se realiza por inyección del material líquido en un molde, el cual se hincha y rellena el mismo.

4.6.2.1.1. ESPUMA DE POLIURETANO (PUR)

La espuma de poliuretano es el núcleo más utilizado en la fabricación de tablas de surf de poliéster.



Ilustración 41: Núcleo de poliuretano

Obtención:

Es un polímero termoplástico que se forma a partir de la reacción de dos sustancias líquidas: el isocianato (o MDI) y el polioli, que se convierten en un sólido cuando reaccionan. La mayor parte de las propiedades físicas y sobre todo mecánicas dependen de la cantidad de poros existentes en la espuma y de su grado de reticulación.

Las espumas rígidas de PU se obtienen de poliéter-polioli ramificados con un número relativamente alto de grupos hidroxilo en la molécula. El gran número de grupos hidroxilo hace que las moléculas reticulen en malla tupida. Las distancias entre los grupos urea y uretano dan rigidez al conjunto, son pequeñas y las espumas resultantes son rígidas.

Se diferencia entre espuma de bloque y espuma de moldeado. Las de bloque se obtienen por colada, dando bloques que mayoritariamente se cortan horizontalmente para fabricar planchas o piezas sencillas. Para fabricar piezas de geometría compleja se necesitan espumas de moldeado, el proceso de producción se observa en la *Ilustración 42*.

La espuma de poliuretano es un material muy versátil ya que, según los aditivos y los sistemas de fabricación utilizados, se pueden conseguir espumas de muy distintas características, destinadas a usos muy diferentes.

Se suele utilizar mucho la densidad para comparar las distintas espumas, pero sólo sirve como elemento comparativo cuando hablamos de espumas con la misma composición, ya que distintas fórmulas nos dan características diferentes. En unas espumas buscaremos la mayor duración posible, en otras el precio más económico, en otras la transpirabilidad, la capacidad aislante, la facilidad de perfilar o dar forma, la ligereza, etc.

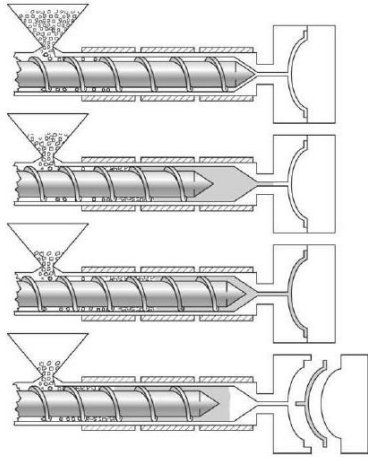


Ilustración 42: Proceso de inyección por moldeo

Fin de vida útil:

La viabilidad de cada técnica depende del tipo de poliuretano (PU), del uso posterior y de su coste. Si los materiales a reutilizar están contaminados se deben incinerar necesariamente. Son difíciles de reciclar o el proceso es poco rentable. Dependiendo del tipo de espuma de poliuretano podemos hablar de dos tipos de técnicas de reciclado a emplear: Reciclado mecánico o reciclado químico. En caso de no ser posible su reciclado se procede a la recuperación energética.

A. *Reciclado mecánico:* Los poliuretanos (PU) son triturados y una vez están convertidos en polvo pueden reutilizarse en la producción de nuevas espumas. El reciclado mecánico por sí solo no es suficiente en muchos casos, a veces también se necesita el reciclado químico o incineración. Cada vez que se realiza el reciclado las espumas pierden propiedades.



Ilustración 43: Proceso de reciclado mecánico del PU

B. *Reciclado químico:* Puede considerarse como un proceso complementario al mecánico ya que ofrece posibilidades que resuelven las limitaciones de este último. Es un proceso mediante el cual se produce la descomposición del polímero para obtener los monómeros (componentes de partida). A partir de ellos se obtienen nuevos materiales poliméricos. Puede realizarse mediante diferentes procesos que se clasifican en:

- Despolimerización térmica: Se transforman los polímeros en monómeros u oligómeros mediante el aporte de calor, existen distintos procesos:
 - *Pirólisis:* Se lleva a cabo bajo condiciones de reacción severas ya que se necesitan altas temperaturas para romper los enlaces de carbono-carbono. Este proceso permite obtener los monómeros (etileno o propileno) en presencia de numerosos subproductos y con bajos rendimientos por lo que se están buscando catalizadores para mejorar este proceso.

- *Hidrogenación o hidrocrackeo*: Se realiza el tratamiento térmico en presencia de hidrógeno, a temperaturas moderadas (400-500°C) y elevadas presiones (10-100 kPa). Se emplean catalizadores bifuncionales.
Da lugar a la formación de productos altamente saturados que se pueden usar directamente como combustible o como materia prima en refinería. Permite el tratamiento de mezclas de plásticos y la obtención de hidrocarburos líquidos con rendimientos del 85%. Sin embargo, al trabajar con hidrógenos a altos valores de temperatura y presión resulta costoso y requiere de unas medidas especiales de seguridad.
- *Craqueo térmico*: Se busca la ruptura de las cadenas poliméricas por acción de calor en ausencia de oxígeno. Las proporciones de hidrocarburos líquidos, sólidos y gaseosos dependen de la temperatura del proceso, normalmente entre 500 y 800°C.
- Disolución: Permite recuperar los polímeros purificados eliminando los materiales contaminantes contenidos en los deshechos.
- Solvólisis: Es un proceso en el que el disolvente actúa como reactivo. Existen distintas clases de solvólisis:
 - *Hidrólisis*: Normalmente se realiza en medio básico para facilitar el proceso y se necesita de un tratamiento posterior para transformar el producto en monómeros utilizables.
 - *Metanolisis*: Es un avanzado proceso que consiste en la aplicación de metanol descomponiendo así el polímero en sus moléculas básicas.
 - *Glicosís*: Es más económico que los procesos anteriormente mencionados pero es menos eficaz en caso de que los deshechos estén coloreados o mezclados.
- C. *Recuperación energética*: Si los residuos de poliuretano (PU) no pueden reutilizarse, reciclarse o transformarse en otros productos, la opción preferida es la recuperación de energía. El PU contiene una cantidad significativa de energía, lo que lo convierte en una materia prima muy eficiente para incineradoras municipales que generan electricidad. El proceso sería el que se observa en la *Ilustración 44*.

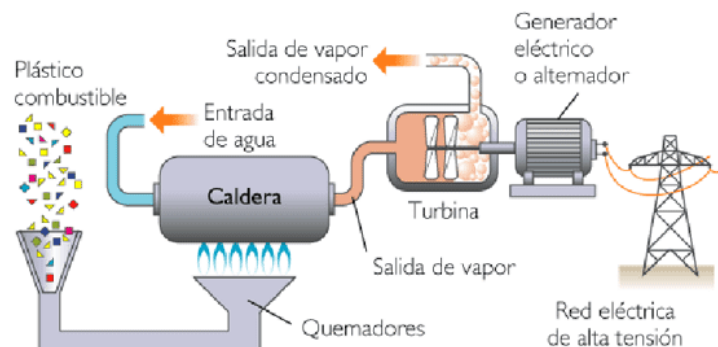


Ilustración 44: Proceso de obtención de energía del poliuretano

Propiedades:

Sus principales propiedades mecánicas son:

- Módulo elástico: 0.002-0.003 GPa
- Resistencia mecánica a compresión: 50-100 MPa
- Resistencia mecánica a tracción: 25-51 MPa

Las principales ventajas a destacar son:

- ✓ Es un material de fácil transportación.
- ✓ Tiene una alta capacidad de carga tanto en tensión como en compresión.
- ✓ Funciona muy bien cuando se utiliza en aplicaciones de alta fatiga por flexión.
- ✓ Resistencia a la abrasión y al impacto.
- ✓ Resistencia al agua, grasa y gasolina.
- ✓ Facilidades de producción.

Sus principales desventajas a destacar son:

- ✗ La corta vida es una desventaja importante de los productos de poliuretano.
- ✗ El poliuretano emite olores y humos, aunque no son muy notables. Los productos químicos derivados del petróleo y los gases retardantes causan problemas físicos en el material. La exposición prolongada a este olor puede hacer que la gente se enferme.
- ✗ La espuma de poliuretano emite humos tóxicos si se quema. Algunos agentes espumantes en el poliuretano producen gases de efecto invernadero que tienen efectos negativos sobre el ambiente. Algunas espumas de poliuretano contienen combustibles de fósiles no renovables que afectan negativamente al medio ambiente.

Los sistemas de poliuretano aportan características a las tablas de surf que facilitan la misión de mantenerse en pie sobre la ola.

- *Ligereza:* Gracias a su estructura molecular, el poliuretano facilita la flotación mientras que garantiza la usabilidad de la tabla de surf.
- *Resistencia:* El poliuretano se convierte en un material duro que resiste golpes y el paso del tiempo incluso con un uso tan intenso como el del surf.
- *Durabilidad:* La buena resistencia a un uso continuo, junto con el buen comportamiento frente al agua y la salinidad, le hace un material duradero que garantiza que la inversión en este tipo de tablas de surf sea una buena compra.

Además, gracias a la flexibilidad del material en los procesos de fabricación, las espumas de poliuretano se adaptan perfectamente a la forma deseada de la tabla.

4.6.2.1.2. ESPUMA POLIESTIRENO

Las tablas de epoxi pueden fabricarse con dos tipos de foam de poliestireno, el poliestireno expandido (EPS) y el poliestireno extruido (XPS).

El poliestireno expandido (EPS) es el popular “corcho de bolitas”. Se trata de un material muy difícil de trabajar para los shapers y de escasa resistencia. Uno de sus mayores problemas es que en contacto con el agua la absorbe como una esponja. Es el material empleado en las tablas de epoxi más baratas.

El poliestireno extruido (XPS) es más resistente que el EPS, y debido a su estructura interna de celdas cerradas no absorbe agua en caso de rotura de la tabla. También es un material más fácil de trabajar para los shapers.

Sus principales propiedades mecánicas son:

- Módulo elástico: 1.5-10.8 MPa
- Resistencia mecánica a compresión: 30-500 kPa

- Resistencia mecánica a tracción: 100-580 kPa

Sus ventajas más relevantes son:

- ✓ Bajo coste.
- ✓ Ligero pero a la vez resistente.
- ✓ Soporta 1000 veces su peso.
- ✓ Poder de amortiguamiento.
- ✓ Fácil manipulación.

Y desventajas:

- ✗ Puede ocasionar grandes incendios.
- ✗ Genera gases tóxicos al ser incinerado sin un proceso adecuado.
- ✗ Intoxicación para el ser humano.

Las principales diferencias entre el poliestireno expandido y el extruido son las siguientes:

- El poliestireno expandido (EPS) es menos denso que el extruido (XPS).
- El poliestireno expandido (EPS) absorbe la humedad, a diferencia del extruido (XPS).
- El EPS tiene una resistencia mecánica menor al XPS.

4.6.2.1.2.1. ESPUMA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

También conocido como corcho blanco, porexpan o poliexpan, es un material plástico espumado compuesto en un 98% de aire, muy ligero y a la vez resistente. El poliestireno estructuralmente es una larga cadena hidrocarbonada, con un grupo fenilo unido cada dos átomos de carbono. Las materias primas para su fabricación son el etileno y el benceno.



Ilustración 46: Foam de EPS

Planchas Poliestireno
Expandido



Ilustración 45: Plancha de EPS

Obtención:

Se obtiene a partir de la transformación del poliestireno expandible. Esta materia prima es un polímero del estireno que contiene un agente expansor, el pentano. Como todos los materiales plásticos el poliestireno expandible deriva en último término del petróleo.

A partir del procesado del gas natural y del petróleo se obtienen el etileno y diversos compuestos aromáticos. A partir de ellos se obtiene el estireno. Este estireno monómero

junto con el agente expansor (normalmente es pentano) sufre un proceso de polimerización en un reactor con agua dando lugar al poliestireno expandible, la materia prima de partida para la fabricación del poliestireno expandido.

El proceso de obtención consta de 3 etapas:

1. Preexpansión (*Ilustración 47*):

Comienza a partir de “perlas” de poliestireno expandible.

Estas perlas se calientan con vapor de agua a temperaturas que rondan los 80 a 100°C hasta que se expanden y se generan pequeñas celdas llenas de aire en su interior hasta conseguir un volumen de hasta 40 veces el original.

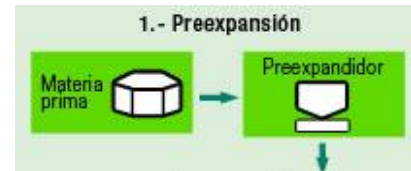


Ilustración 47: Proceso expansión EPS

2. Reposo intermedio y estabilización (*Ilustración 48*):

La siguiente es una fase de estabilización.

El agente de expansión que se encuentra en estas perlas o partículas de poliestireno preexpandidas se condensa, por lo que se genera un espacio libre que es necesario llenar con aire por difusión para poder mantener la estabilidad mecánica del material.



Ilustración 48: Proceso reposo EPS

Este paso del proceso se lleva a cabo en silos de reposo ventilados que facilitan el enfriamiento de las perlas.

3. Expansión y moldeado final (*Ilustración 49*):

Una vez el material está preexpandido y estable, se pasa a la última fase de expansión final y moldeado.

Las perlas ahora se transportan a moldes específicos a los que se les aplica nuevamente calor proveniente de vapor de agua (como en la primera fase) y fuerza mecánica, que actúan soldando las perlas entre sí y conforman un bloque en el molde definido.

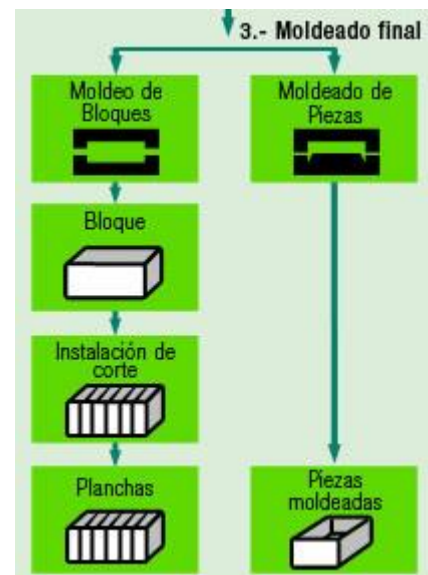


Ilustración 49: Expansión y moldeado final EPS

4.6.2.1.2.2. ESPUMA DE POLIESTIRENO EXTRUIDO (XPS)

El poliestireno extruido es una espuma rígida, aislante, de carácter termoplástico y de estructura celular cerrada. Su estructura celular totalmente cerrada le proporciona una altísima capacidad de resistencia mecánica.



Obtención:

Ilustración 50: Espuma de poliestireno extruido

El proceso de fabricación del XPS comprende las siguientes fases (*Ilustración 51*):

1. Extrusión
2. Expansión
3. Estabilización
4. Mecanización

Los paneles de XPS se fabrican por un proceso de extrusión, a partir de resina de poliestireno en forma de granza. La granza se introduce en la extrusora junto a otros aditivos, fundiéndose y mezclándose hasta formar un fluido viscoso.

Se inyecta entonces un agente espumante, bajo condiciones muy controladas de presión y temperatura, a continuación la mezcla espumable se conduce hasta el cabezal, produciéndose la expansión. Durante la calibración se da la forma a la masa procedente del cabezal permitiendo un acabado liso y plano de la superficie de los paneles y la uniformidad y homogeneidad de la masa en todo el perímetro de los paneles.

La banda de XPS resultante circula a través de una línea continua a lo largo de la cual se cortan los paneles a la dimensión deseada, se dejan reposar los paneles para estabilizar sus dimensiones, se mecanizan las ranuras y bordes y finalmente se paletizan los paneles.

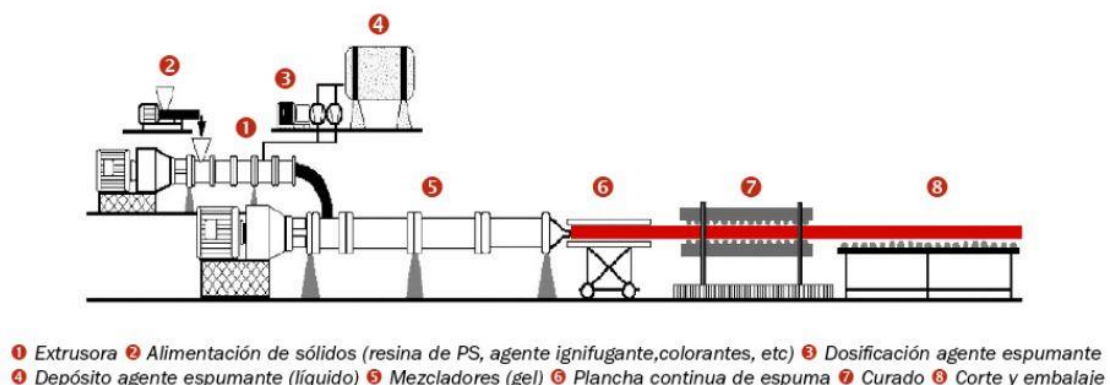


Ilustración 51: Proceso de fabricación de espuma de poliestireno extruido

4.6.2.1.2.3. FIN VIDA ÚTIL EPS Y XPS

El poliestireno es uno de los materiales menos amigables con el medio ambiente. Esto se debe a que la polimerización del estireno no es reversible, esto no quiere decir que el poliestireno expandido o extruido no pueda ser utilizado nuevamente.

La recuperación se puede realizar a partir de 3 vías:

1. *Reciclado mecánico*: Puede reciclarse mecánicamente a través de diferentes formas y puede servir para distintas aplicaciones:
 - Fabricación de nuevas piezas.
 - Mejorar los suelos: Una vez son triturados y molidos los residuos de se mezclan con la tierra mejorando el drenaje y aireación.
 - Incorporación para otros materiales de construcción como ladrillos, hormigones...
 - Producción de granza de PS.
 - Material de relleno para embalajes, cojines, peluches...
2. *Recuperación energética*: Se busca obtener energía (normalmente en forma de calor) a partir de la combustión de residuos. Es una buena opción para aquellos residuos que por diversos motivos no puedan ser reciclados fácilmente. No produce gases dañinos ya que las emisiones están controladas y filtradas cuidadosamente. Actualmente en la combustión en las plantas modernas solo emite dióxido de carbono, vapor de agua y cenizas no tóxicas. Como se observa en la *Ilustración 52* posee un elevado poder calorífico.

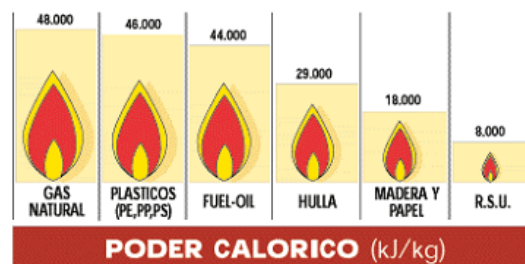


Ilustración 52: Poder calorífico del EPS comparado con otros materiales

3. *Vertido*: Es el método menos aceptable pero cuando no hay otro método de recuperación alternativo y viable pueden destinarse los residuos al vertedero con total seguridad ya que el material es biológicamente inerte, no tóxico y estable.
4. *Compactación térmica del poliestireno expandido (EPS)*: Esta máquina (*Ilustración 54*) lo que realmente hace es invertir el proceso de fabricación industrial del EPS al ser compactado mediante la acción del calor y transformándolo en una resina líquida que al enfriarse se convierte en una briqueta de poliestireno completamente solidificada. El resultado de la compactación es impresionante, logrando una reducción del 95% del volumen del poliestireno (*Ilustración 53*). El gas generado en el proceso, es conducido hasta el filtro de carbono en el cual se acumulan los residuos, por lo que no se contamina el medio ambiente. Las briquetas resultantes pueden ser usadas en la industria otra vez para producir granza de plástico.



Ilustración 54: Máquina de compactación térmica



Ilustración 53: Comparación de la reducción del EPS con el proceso de compactación térmica

4.6.2.2. REFUERZO Y MATRIZ

El núcleo se cubre con fibra de vidrio y resina (poliéster o epoxi) para ofrecer la rigidez y protección que este necesita, por lo tanto define la mayor parte de las características mecánicas del material como la resistencia y la rigidez. Por esta razón las fibras son el refuerzo más utilizado en las tablas de surf, es un material que aporta propiedades a la tabla y al unirlo con las resinas aumenta las características del laminado compuesto. El acabado de las fibras se realiza con la resina y el catalizador. La resina es un material gelatinoso que reacciona con el catalizador, sustancia que le permite secar y endurecerse; existen algunas que endurecen cuando se exponen al sol (UV).

Los materiales compuestos están formados por dos fases; una continua denominada matriz y otra dispersa denominada refuerzo. El refuerzo proporciona las propiedades mecánicas al material compuesto y la matriz la resistencia térmica y ambiental. En la *Ilustración 55* se puede observar una gráfica en la que se representan los valores de resistencia a la tracción y presión de la resina, refuerzo y el compuesto entre ambos.

Además, los composites o materiales compuestos, pueden llevar componentes en pequeña proporción, que o bien le confieren características determinantes o bien ayudan en el proceso de su formación, como por ejemplo, los acelerantes, colorantes, fluidificadores, catalizadores, microesferas, espumas, desmoldeantes, partículas metálicas, anti UV, etc.

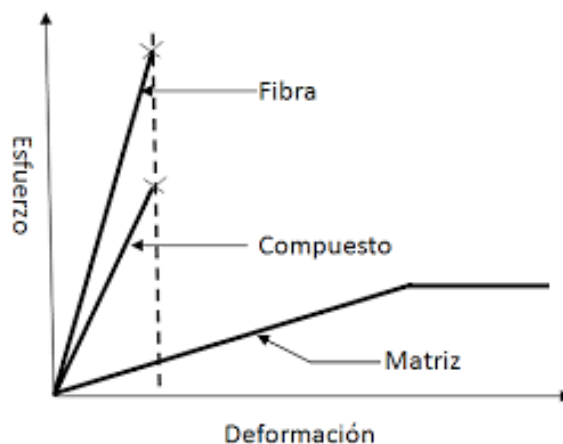


Ilustración 55: Gráfica esfuerzo vs deformación de un material compuesto

4.6.2.2.1. REFUERZO: FIBRA DE VIDRIO

La fibra de vidrio es un excelente material para ser utilizado como refuerzo, una vez que la fibra es impregnada de resina, da fuerza y rigidez a la tabla. Los fabricantes de referencia en el mundo del shape son Excel, Aerialite y Shapers. Se suele medir en Oz (28.35 g). Para tablas de surf, la norma es usar una capa de fibra de vidrio 4Oz en el bottom y dos capas de 4Oz en el deck. Para longboard o fish, se puede usar una capa de fibra de vidrio 4Oz y una de fibra de vidrio 6Oz en el deck, para una mayor resistencia y más inercia de la tabla. Algunas tablas de gama alta, o las tablas de los profesionales llevan fibra de vidrio S-Glass, una calidad superior que permite a los shaper usar menos fibra para conseguir la misma resistencia.



Ilustración 56: Fibra de vidrio

Existen varios tipos que se diferencian en su composición química y que por lo tanto presentan diferentes propiedades (Tabla 2):

- **E (vidrio-E):** Es el más utilizado por su buena relación calidad/precio.
- **R (resistance) y S (strength):** Destaca por sus buenas propiedades mecánicas.
- **C (chemical):** Destaca por su buena resistencia química. Se puede utilizar en las capas superficiales de estructuras sometidas a atmósferas agresivas.
- **D (dielectric):** Tiene excelentes propiedades dieléctricas y se utiliza en circuitos electrónicos.

PROPIEDAD	TIPO DE FIBRA DE VIDRIO			
	Vidrio C	Vidrio E	Vidrio S	Vidrio R
Diámetro de Hilo (μm)	5-13	10-20	10	10
Densidad (kg/m^3)	2500	2580	2480	2590
Módulo de elasticidad (Gpa)	69	72,5	86	85
Resistencia a la tracción (Gpa)	3,1	3,4	4,59	3,4-4,4
Módulo específico ($\times 10^6 \text{m}^2/\text{s}^2$)	28	28	34	33
Coefficiente de expansión térmica ($10^{-6}/\text{k}$)	8,6	5	5,1	5

Tabla 2: Propiedades físicas de los tipos de fibra de vidrio (C, E, S y R)

Obtención:

La fibra de vidrio se obtiene gracias a la intervención de ciertos hilos de vidrio muy pequeños, que al entrelazarse van formando una malla, patrón o trama. Hay dos métodos principales de fabricación de fibra de vidrio. La fibra se puede fabricar por un proceso de fusión directa o por un proceso de refundación. Ambos comienzan con las materias primas en estado sólido, los materiales se mezclan y se funden en un horno.

- **Método de fusión directa:** En este proceso el horno se alimenta con la mezcla formada por los distintos componentes del vidrio debidamente homogeneizada y refinada (Ilustración 57). En este proceso el bushing sirve como colector de vidrio fundido. Actualmente se utiliza este método ya que posee un mayor rendimiento.

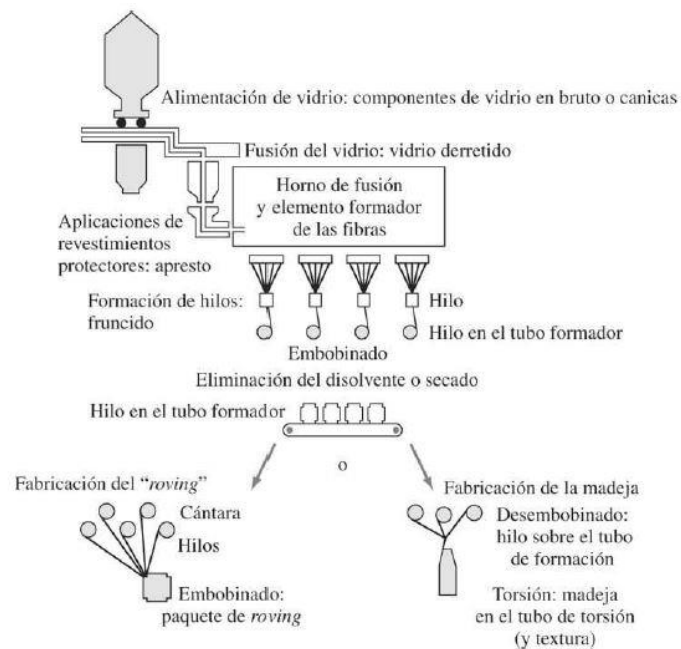


Ilustración 57: Proceso obtención fibra de vidrio por el método de fusión directa

- **Método de refundición:** El material fundido es cortado y enrollado en bolitas que son enfriados y envasados. Estas bolitas se insertan en un cilindro y el material es refundido. En este caso el bushing actúa más como un horno que derrite el material. El vidrio se extruye a través de un cabezal (bushing) que lo conforma en filamentos (*Ilustración 58*).

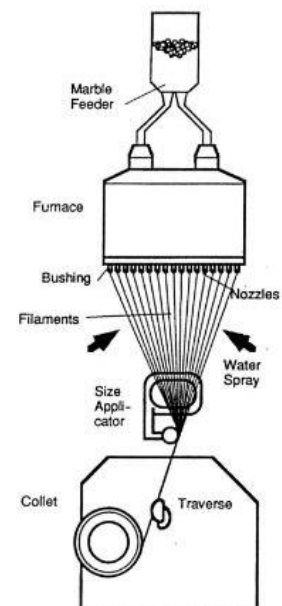


Ilustración 58: Método de refundición

La placa de bushing (*Ilustración 59*) es lo más importante para conseguir una buena fabricación de la fibra. Es un cabezal de metal que se calienta y posee unas boquillas a través de las cuales se forman los filamentos.



Ilustración 59: Bushing

Los filamentos obtenidos al salir de las boquillas son enfriados al pasar por unas aletas de enfriamiento para luego ser enrollados en bobinas.

Una vez que la fibra se extrae se procede al proceso de filamento continuo (*Ilustración 60*) para que esta acabe presentada en una bobina.

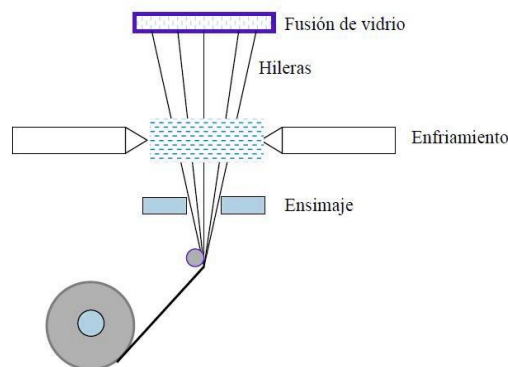


Ilustración 60: Proceso de filamento continuo

Propiedades:

Entre sus características más relevantes podemos destacar:

- ✓ Inerte a diversas sustancias como el caso de los ácidos.
- ✓ Maleable y resistente a tracción.
- ✓ Es un material ligero.
- ✓ Resistencia mecánica específica (resistencia tracción/densidad) superior a la del acero.
- ✓ Buena relación propiedades/coste.
- ✓ Estabilidad dimensional.
- ✓ Facilidad de fabricación.

Debido a todas esas importantes cualidades es muy común que se la utilice para la fabricación de piezas del mundo náutico, como las tablas de surf y wind-surf, las lanchas e incluso los veleros.

4.6.2.2.2. MATRIZ: RESINA EPOXI Y POLIÉSTER

La función principal de la matriz es la de poder soportar la carga aplicada y transmitirla al esfuerzo a través de la interfase; por lo que la matriz tiene que ser deformable. También tiene que existir una buena compatibilidad entre matriz y refuerzo para que esta proteja a las fibras del medio externo y las mantenga unidas.

Las matrices poliméricas pueden ser termoestables o termoplásticas en función de si presentan o no reticulaciones:

Las matrices termoestables presentan uniones covalentes formadas en la reacción de reticulación o curado. Estas matrices son fáciles de procesar antes del curado debido al bajo peso molecular de las resinas precursoras o prepolímeros y son más tenaces pero más frágiles que las termoplásticas.

Las matrices termoplásticas no tienen uniones permanentes entre cadenas porque no reticulan. Son más difíciles de procesar ya que deben tener un alto peso molecular para presentar buenas propiedades mecánicas, en cambio se pueden reciclar ya que se reblandecen al calentar y vuelven a la forma sólida al enfriarlos.

En este caso se verán las matrices termoestables ya que son las que se utilizan actualmente en la industria del surf.

Hay dos tipos de resina utilizados actualmente, la resina epoxi y la de poliéster. La resina poliéster es la más empleada. Más fácil, más rápida de usar, y más económica que la resina epoxi, el 80% de las tablas de surf están hechas con resina poliéster.

La resina epoxi presenta propiedades mecánicas superiores a las resinas poliéster, sin embargo es mucho más cara que la resina poliéster, y es por eso menos usada. Sobre todo es usada en las tablas fabricadas de forma industrial como son las tablas de Bic surf o NSP Surf.

4.6.2.2.1. RESINA POLIÉSTER

Las resinas de poliéster (*Ilustración 61*) son líquidas a temperatura ambiente y pueden ser llevadas a estado sólido, en el caso de las resinas pre-aceleradas, por la adición de un catalizador; y para resinas no pre-aceleradas con un acelerador y un catalizador (*Ilustración 62*).

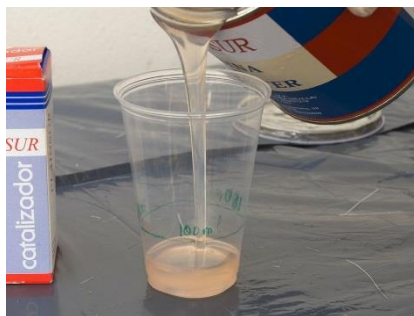


Ilustración 61: Resina de poliéster



Ilustración 62: Catalizador

La resina de poliéster se mezcla con un catalizador, que hace que la resina se endurezca, es el proceso de catalización.

Se puede usar catalizador líquido tipo PMEC (peróxido metil-etil-cetona), o bien catalizador ultravioleta (UV), que hace que la resina se endurezca con los rayos del sol.

Entre las resinas de poliéster se encuentran como las más comunes: las ortoftálticas (de uso general en ambientes no agresivos) y las isoftálticas (buen desempeño mecánico, resistente a agentes químicos y al agua).

Obtención:

Se produce a partir de reacciones de policondensación entre los monómeros diol y ácido dicarboxílico.

Según la naturaleza de sus monómeros se divide en Ortoftálicas e Isoftálicas, sus principales diferencias son; las resinas Ortoftálicas son más rígidas, presentan tiempos más largos de gelificación, menor resistencia al agua, peores propiedades químicas y menos viscosas que las Isoftálicas.

Una vez finalizada la reacción de condensación entre los dos monómeros la resina de poliéster ya estará formada. Normalmente se suele disolver en estireno para fluidizar la resina disminuyendo su viscosidad facilitando la impregnación del refuerzo.

Las resinas de poliéster presentan una baja temperatura de transición vítrea, y su resistencia y rigidez no son elevadas. Tiene como principal inconveniente la tendencia a contraerse durante el endurecimiento (hasta 7% en volumen).

El proceso de transformación de estado líquido a sólido se llama curado y viene acompañado de una reacción exotérmica (desprende calor). Este cambio de estado, cuando se adicionan los promotores de curado (acelerador y catalizador), es una reacción que ocurre a medida que transcurre el tiempo y se genera de forma gradual, pasando de estado líquido a estado gelatinoso (conocido como estado o tiempo de gel) y finalmente a estado sólido. En las resinas de poliéster el acelerante o acelerador se llama octoato de cobalto y el catalizador se llama MEK (metil-etil-cetona) peróxido.

El curado de la resina de poliéster se puede considerar que se lleva a cabo en tres etapas (*Ilustración 63*):

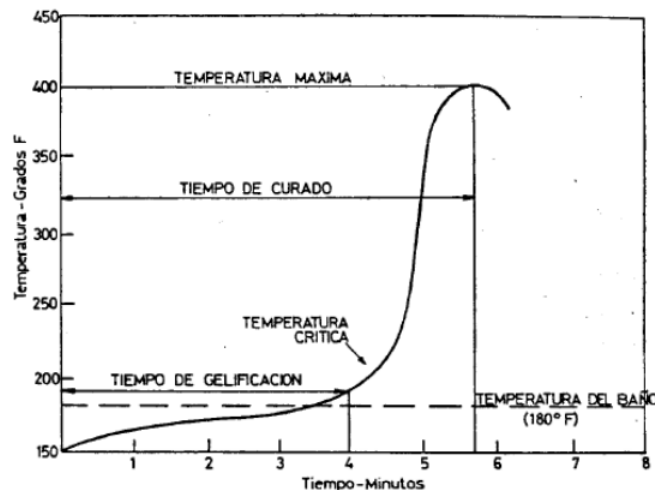


Ilustración 63: Curado de la resina de poliéster en función del tiempo y temperatura

1. **Gelificación**, etapa en la que la resina cambia de líquido fluyente a un gel blando.
2. **Endurecimiento**, donde la resina cambia de un gel blanco a un material endurecido que se puede extraer del molde.
3. **Curado final**, en donde la resina adquiere sus propiedades mecánicas y químicas completas. Este proceso puede durar varias horas a temperatura elevada hasta varias semanas a temperatura ambiente.

Los principales factores que intervienen en el proceso de curado son:

- El tipo y referencia de resina empleada.
- La temperatura ambiente, la mayoría de las resinas no curan a temperaturas inferiores a 16°C.
- La naturaleza y cantidad de catalizador y acelerador. A mayor cantidad de ambos, menos tiempo de gelificación.
- La naturaleza y cantidad de las cargas. Si estas son elevadas retrasan el curado.
- La humedad relativa. Es necesario mantener una humedad relativa entre 40 y el 54 %.
- El exceso de exposición al sol. El incremento de la temperatura del proceso, la cual reduce el tiempo de gelificación.
- Espesor del laminado, cuyo aumento disminuye el tiempo de gelificación.

Las resinas de poliéster con filtro UV son aquellas que se utilizan en todas las aplicaciones en las que se requiera una exposición prolongada al exterior y a los rayos solares. De esta manera, los productos fabricados con este tipo de resinas, no sufrirán ningún tipo de amarilleamiento, como es el caso de una tabla de surf.

Todas las resinas de poliéster disponen de una hoja de seguridad, además de una formulación específica o ficha técnica en la que se menciona, entre otros, la cantidad de catalizador y de ser necesario la cantidad de cobalto, si permite o no la utilización de estireno y en qué porcentajes.

Otro factor a tener en cuenta, es que las resinas tienen un tiempo de vida, y desde su fabricación, pasando por el proceso de distribución hasta llegar al consumidor final puede haber pasado un tiempo considerable que afecta la calidad y viscosidad de la resina, además el lugar y la temperatura de almacenamiento pueden influir en forma negativa.

Propiedades:

Tienen un color pálido, entre gris y blanco apagado y cuando se combinan con la fibra de vidrio forman materiales compuestos de gran resistencia.

Sus principales ventajas a destacar son:

- ✓ Las resinas poliéster son resistentes al agua y a los rayos UV.
- ✓ Rápido tiempo de curado.
- ✓ Son maleables hasta que se calientan, entonces quedan permanentemente endurecidas, no cambian su estado incluso si se le somete el mismo calor por segunda vez.

Y sus desventajas:

- * Son generalmente viscosas. Si se quiere reducir esta viscosidad se le agrega estireno, sin embargo como contrapartida al añadir este, pueden generar humos tóxicos que va en contra de la salubridad de las personas que trabajen con las resinas.
- * Pueden ser ligeramente frágiles por su resistencia a ser doblada o cambiada, cuando se les aplica suficiente presión pueden resquebrajarse.

4.6.2.2.2. RESINA EPOXI

Se basan en los llamados epóxidos (generalmente bisfenol A), que endurecen por poliadición al reaccionar con endurecedores polifuncionales como aminas, fenoles, poliácidos. El tipo de epóxido y endurecedor influyen en las características finales del sistema de resina (resistencia térmica, ductilidad y modo de endurecimiento). Estas cadenas se polimerizan y a continuación se les hace reaccionar con agentes que aceleran el curado que proporcionan los enlaces cruzados.



Ilustración 64: Resina epoxi

Poseen las mejores características mecánicas y de mayor resistencia térmica, su estabilidad dimensional es otro punto fuerte de estas resinas, que se traduce en una ausencia de contracción durante el proceso de curado.

Obtención:

La inmensa mayoría de las resinas epoxi empleadas en la construcción son productos de condensación que resultan de las epíclorhidrina con compuestos de varios grupos fenólicos, generalmente son difenol-propano, comúnmente conocido con el nombre de bisfenol A.

Los sistemas epoxi se componen de dos elementos principales: resina y endurecedor, a los que se les puede añadir una serie de agentes modificadores (diluyentes, flexibilizadores, cargas...) para modificar algunas propiedades físicas o químicas del material final o abaratar el mismo.

Las resinas epoxi pueden clasificarse en:

- Éteres glicéricos
- Esteres glicéricos
- Aminas glicéricas
- Alifáticas lineales
- Cicloalifáticas

El endurecimiento de una resina se puede hacer por un agente (unión de moléculas de epoxi por un catalizador) o con un endurecedor (el reactivo se combina con una o más moléculas de resina). Los reactivos endurecedores pueden clasificarse en agentes de curado en frío o caliente.

Propiedades:

Posee una buena resistencia mecánica, es resistente a la humedad, resiste temperaturas elevadas y tiene poca contracción al curar; al contrario que las resinas de poliéster.

Sus principales ventajas a destacar son:

- ✓ El grado de contracción durante el curado es bajo.
- ✓ Su resistencia térmica es elevada.
- ✓ Alta resistencia al impacto.

Y sus desventajas:

- ✗ Elevado precio.

- ✖ El curado de la resina es lento.
- ✖ Alta viscosidad.

4.6.2.2.2.3. RESINA EPOXI VS RESINA POLIÉSTER

Las resinas de poliéster de tipo insaturado empleadas para la fabricación de composites con fibras de refuerzo (fundamentalmente de vidrio) tienen altos contenidos de disolvente (estireno), parte del cual reacciona con el polímero y endurece, formando parte de la estructura sólida de la resina. Pero un cierto contenido se evapora, lo que produce una contracción.

Las resinas epoxi, sin embargo, presenta una muy baja contracción y por eso son más empleadas en procesos en los que las tolerancias son más exigentes.

Las resinas de poliéster, por lo general, tienen resistencias mecánicas y químicas inferiores a las de las resinas epoxi y las tablas fabricadas con esta resina por lo general son más económicas.

Las principales diferencias entre las resinas en una tabla de surf se pueden ver reflejadas en 4 puntos característicos:

Resistencia: Es una característica a tener en consideración ya que las tablas de surf, sufren mucho cada vez que se meten en el agua, ya sea por el oleaje, por el peso del rider, son propensas a recibir golpes... Las tablas de poliéster son conocidas por su fragilidad ya que a los pocos baños o por cualquier toque empiezan a aparecer grietas.

Las tabas de epoxi tienen como ventaja una mayor dureza y resistencia comparándolas con las de poliéster. Este tipo de tablas que también pueden sufrir daños son más resistentes a los golpes y se mantienen en mejor estado por más tiempo. Es una característica bastante determinante a la hora de elegir este tipo de tablas, ya que la hace una opción a los que viajan mucho con tablas, los que surfeen en olas con fondo de roca o arrecife, y es una buena elección para los principiantes.

Ligereza: Las tablas de epoxi poseen como otra gran ventaja la ligereza, ya que dará a la tabla en torno un 15%-30% más de flotabilidad, lo que supondrá mejor remada y velocidad en la ola. La ligereza de las tablas no viene dada por la resina en sí, sino por el interior que en el caso de las tablas realizadas con resina epoxi este núcleo está formado por foam de poliestireno, que es un material poco denso y ligero.

Las tablas convencionales son menos ligeras porque como núcleo utilizan foam de poliuretano que es más denso y por tanto menos ligero que el foam de poliestireno.

Flexibilidad y respuesta: Las tablas de epoxi tienen una mayor resistencia y flotabilidad (alta rigidez). Esto puede ser una desventaja en algunas circunstancias ya que esta característica hace que la tabla absorba todos los baches y vibraciones de la ola.

Ecológico: Las tablas de epoxi, desprenden, durante el proceso de fabricación, menos sustancias contaminantes al medio ambiente que las tablas fabricadas en resina poliéster (debido al foam de poliuretano). Se puede señalar que el mayor fabricante de foam de poliuretano, Clark Foam, cerró en el año 2005, después de 45 años, por no poder adaptarse a las normativas medioambientales, lo que también supuso un empuje a los nuevos materiales como el epoxi.

En la *Tabla 3* se puede ver una tabla comparativa de las diferentes propiedades que existen entre ambas resinas.

	Poliéster	Epóxica
Resistencia a la tensión (MPa)	40-90	55-130
Módulo de elasticidad (GPa)	2-4,4	2,8-4,2
Esfuerzo de fluencia a flexión (MPa)	60-160	125
Densidad (g/cm ³)	1,1-1,46	1,2-1,3

Tabla 3: Tabla comparativa de las características resina poliéster vs epoxi

4.6.2.2.3. FIN VIDA ÚTIL MATERIALES COMPUESTOS

Un gran problema asociado a la utilización de este material es su reciclado una vez que ha terminado su vida útil. No existe un proceso óptimo que permita separar de nuevo la fibra de vidrio de la resina. Existían varios métodos de reciclaje pero, o tenían un coste muy caro, o degradaban los materiales a la hora de la separación por lo que no podían ser usados otra vez para los mismos fines. Dar un destino final a la gran cantidad de residuos supone un importante problema medioambiental a resolver.

Las técnicas actuales de reciclado consisten en las siguientes opciones:

- **Triturar el material compuesto y utilizarlo en nuevas matrices poliméricas:** El producto final que se obtiene tiene varias aplicaciones pero no presenta la calidad del material inicial.
- **Pirólisis de los materiales:** Permite la eliminación de la resina y generar energía, pero es altamente contaminante y degrada las fibras de vidrio.
- **Separar los materiales mediante hidrólisis:** Separan las fibras de vidrio pero estas se degradan durante el proceso.
- **Separar la resina de la fibra de vidrio:** Mediante procesado químico a altas temperaturas, pero estos no son totalmente efectivos. Se consigue reciclar un 80% de todo el material.

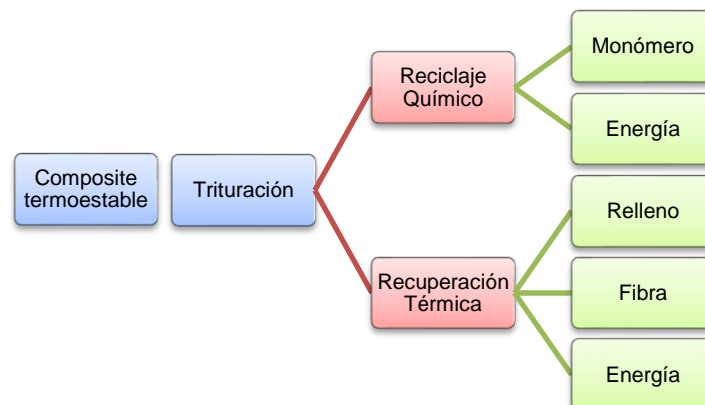


Ilustración 65: Fin vida útil de los composites

En la Ilustración 65 se puede ver un esquema del principal proceso actual de los composites una vez que llegan al final de su vida útil.

A pesar de los procesos mencionados con anterioridad existen dos procesos desarrollados recientemente que pueden impulsar un buen futuro al final de la vida útil de los composites.

Este proceso, que se muestra esquemáticamente en la *Ilustración 66*, utiliza un reactor de lecho fluidizado de baja temperatura (450 °C) para separar las fibras y rellenos de los materiales de matriz de resina en materia prima compuesta triturada. La matriz orgánica se volatiliza en este proceso. Las técnicas de separación novedosas se utilizan para separar las fibras de los rellenos, mientras que una segunda, más alta temperatura (1000 °C) el reactor quema los materiales orgánicos volatilizados. El calor se recupera de esta última reacción y las emisiones gaseosas resultantes se limpian y liberan.

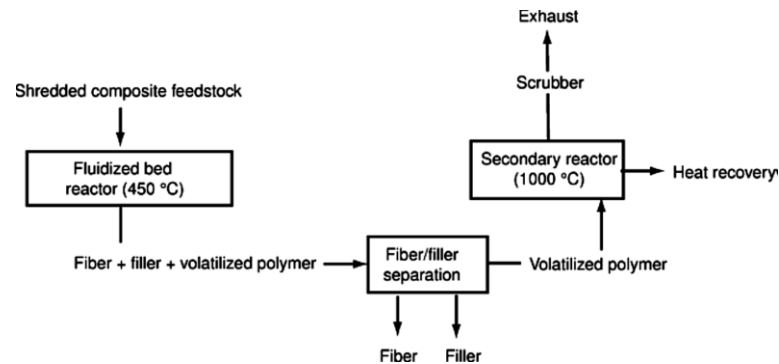


Ilustración 66: Proceso de reciclaje químico composites

Otra opción es la desarrollada por la Universidad de Alicante, la cual ha ayudado a que el impacto que tienen estos materiales en el medioambiente pueda verse reducido.

Esto sucede mediante un proceso químico, a través de él se consigue separar completamente las fibras de vidrio de la matriz polimérica. Este proceso se realiza en condiciones suaves de presión y temperatura por lo que las fibras no se degradan y pueden ser reutilizados en nuevos procesos de construcción. El proceso consiste en tres pasos fundamentales:

1. Separación de otros materiales que pueda incorporar, como por ejemplo maderas o metales.
2. Tratamiento químico del material compuesto en unas condiciones de temperatura y presión concretas.
3. Separación de la fibra de vidrio de los restos de resina mediante tamizado.



Ilustración 67: Composite separado por el proceso químico desarrollado por la Universidad de Alicante

Los compuestos químicos utilizados en el proceso se pueden recuperar y pueden ser reutilizados en ciclos sucesivos. No es agresivo con los materiales y permite separar y recuperar el 100% de los mismos.

No obstante el proceso solo ha sido probado a nivel de laboratorio obteniendo unos resultados muy satisfactorios. El escalado del proceso químico sería sencillo y podría implementarse fácilmente de manera industrial.

RECICLAJE FIBRA DE VIDRIO:

Para reciclar la fibra de vidrio, una vez que esta está separada de la resina, se corta la fibra hasta que queda totalmente molida y luego se recicla al igual que el vidrio.

La fibra de vidrio está compuesta por un tipo especial de vidrio, el vidrio borosilicatado (pirex). Este no debe mezclarse con el vidrio a reciclar porque no se funde totalmente a las temperaturas de operación de las plantas de reciclaje, favoreciendo la aparición de pequeñas piezas de gran dureza denominadas piedras. Estas piedras provocan zonas estructuralmente debilitadas facilitando la rotura de los envases reciclados.

Para el reciclaje de vidrio primero se separan las piezas de vidrio según su composición o color, para facilitar los procesos posteriores. Una vez que el vidrio es separado, lo primero que se hace es limpiarlo con productos químicos para eliminar grasa, arena o elementos de plástico y metal. Una vez limpio, el vidrio pasa por una serie de tamices y martillos que reducen la granulometría del vidrio, para convertirlo en partículas mucho más pequeñas. Después de esto se pasa por una cinta imantada que atrapa los restos metálicos. Los restos de vidrio que se obtienen tras estos procesos se llaman calcín, este producto es calentado junto con arena, caliza e hidroxilo de sodio, dando lugar a vidrio reciclado. El vidrio obtenido tendrá las mismas características que el fabricado por primera vez.

RECICLAJE DE LAS RESINAS:

Las resinas poliméricas provienen de productos derivados del petróleo o el gas natural, los cuales son también fuentes de energía. La extracción del petróleo y el gas es una industria muy contaminante de la naturaleza. Estas resinas poliméricas se producen mediante procesos de alto riesgo para los trabajadores, pues se ha demostrado que los monómeros son cancerígenos.

La ley que regula la gestión de los residuos plásticos en España es la Ley 10/98, de 21 de Abril, de Residuos y también la Ley 11/97 de 24 de Abril, de Envases y Residuos de Envases. La jerarquía establecida en estas leyes, en cuanto a la gestión de residuos, es la siguiente (*Ilustración 68*):

1. Reducir la cantidad de productos que se convierten en residuos.
2. Separar los residuos plásticos para poder utilizarlos de nuevo, ya sea con la misma función inicial o con una nueva.
3. Aprovechar la energía que aún queda dentro de un residuo.
4. Vertido. El vertido de los materiales plásticos es muy costoso ya que ocupan mucho volumen.



Ilustración 68: Fin vida útil polímeros

4.6.2.3. TAPÓN INVENTO Y QUILLAS

El tapón del invento y las quillas son los dos componentes que faltan para acabar de fabricar la tabla de surf. Una vez que el núcleo está protegido por la fibra de vidrio y la resina se procede a colocar los plugs del invento y de las quillas.



Ilustración 70: Modelo de quillas FCS



Ilustración 69: Modelo de quillas Future

Los cajetines permiten colocar las quillas de la tabla de surf. Sirven para desmontar las quillas; bien para viajar, o bien para cambiar el modelo. A día de hoy el FCS X2 (*Ilustración 71*) es el modelo más popular, existen ahora distintas alternativas tanto de FCS como de otras marcas como Eurofin y Futures. El sistema FUTURES FINS (*Ilustración 72*) es otra opción, es más robusta pero más difícil de colocar.



Ilustración 73: Plug quillas modelo FCS



Ilustración 72: Plug quillas modelo FUTURE



Ilustración 71: Plug quillas modelo FCS X2

Los tapones laterales llevan un pequeño ángulo para poder inclinar las quillas, mientras que los centrales no llevan ángulo, para que la quilla central quede a 90 grados respecto a la tabla.

El tapón de invento o plug (*Ilustración 74*) se coloca en el tail de la tabla para poder amarrar el invento de surf (*Ilustración 75*).



Ilustración 74: Invento atado al pie del surfista



Ilustración 75: Plug del invento

El material del cual están compuestos principalmente los plugs y las quillas es policarbonato. Las quillas también pueden ser de fibra de carbono, madera, etc.

4.7. MÉTODOS DE FABRICACIÓN

Para la fabricación de una tabla de surf se deben tener en cuenta factores como el diseño, el peso y las condiciones de uso (dependiendo de las olas que se van a surfear). También hay que sumar talento, buenos materiales y seguir los pasos adecuados. Es la búsqueda de la perfección, no es lo mismo una tabla de iniciación que una tabla pro. Los shapers examinan meticulosamente la cola, la forma de los cantos, el rocker y la distribución de las quillas.

El lugar de trabajo es también muy importante, es necesario tener un sistema de ventilación para expulsar los nocivos vapores de la resina de poliéster, así como una constante limpieza del lugar para eliminar la suciedad y el polvo del foam.

Una vez definido el diseño de la tabla, es vital combinar correctamente la materia prima, las herramientas y el material de seguridad para conseguir un buen resultado final.

Las principales fases del proceso son 4 pasos (5 en caso de pintar la tabla de surf):

4.7.1. PRE-SHAPE

La primera parte del proceso pasa por realizar el corte del foam, consiste en definir y dar al núcleo las principales características de la tabla a fabricar. Éste puede realizarse de diferentes maneras:

- *Máquina de corte industrial:*

Un equipo avanzado que recorta el foam con precisión milimétrica. Todo parte de una plantilla con la forma de la tabla, en donde se puntean las medidas del diseño (proa, centro y popa), coordenadas que se unirán con la línea curva que conformará el outline de la tabla. Es la máquina de corte la cual pule las medidas asignadas al foam (alto, ancho, grosor, punta y cola).



Ilustración 76: Máquina de corte industrial

- *Máquina control numérico (CNC):*

Son máquinas de control numérico para la fabricación de tablas de surf mediante tecnología CAD/CAM. Este tipo de máquinas combinan velocidad, precisión y un coste competitivo. Una de las más utilizadas en el sector es la UnoShaper CNC.



Ilustración 77: Máquina de control numérico

- *Realización manual:*

El corte del foam también se puede realizar a mano, tomando las medidas que muestran el diseño y realizando el corte manualmente con diferentes tipos de herramientas; como bien puede ser una sierra de mano o una caladora eléctrica.



Ilustración 78: Corte a mano

4.7.2. SHAPEADO

La primera fase comienza con un buen shapeado, contando con herramientas como: el cepillo eléctrico, para dar forma al foam; la lija de malla para pulir los cantos; el calibrador para el grosor; la cinta métrica, la sierra de calar, lápices, papel y plantillas.

Se comienza recortando las puntas sobrantes del tail y del nose con una sierra de madera, en caso de que el preshapeado se haya realizado con máquina; y se procede a trabajar el cuerpo de la tabla. Se eliminan los escalones que ha dejado la máquina lijando entre el tail y el nose de la tabla haciendo movimientos amplios con una cala y un papel de lijar.

El shaper desbasta el foam por ambas caras de la tabla, profundizando en la curvatura y el grosor deseado, cepillando con movimientos longitudinales a lo largo de la tabla, nunca a lo ancho. Requiere experiencia y mucha delicadeza. Poco a poco se va dando forma gradualmente a la tabla, suavizando las curvas e igualando los lados.

En caso de que pre-shape se haya realizado manualmente o con una máquina de corte industrial, es necesario realizar todas las formas de las diferentes partes de la tabla. Esto se realizará con ayuda de una lijadora, devastando y dando la forma deseada al núcleo.



Ilustración 79: Shapeado tabla de surf

4.7.3. PINTADO

Consiste en aplicar la pintura sobre la tabla con los diseños deseados. Existen varios métodos para pintar tablas de surf, dependiendo del que se escoja se realizará en una u otra fase del proceso de fabricación:

- **Pintura antes del laminado:** Es la más resistente frente a roturas o golpes posteriores ya que para dañarla se ha de atravesar la capa de fibra. A veces la pintura puede afectar a la construcción pudiendo impedir que la fibra se adhiera correctamente al foam.
- **Cut-Lap:** Se tintan las resinas una vez finalizado el proceso de laminado. Impide realizar ciertos diseños, puesto que la resina se ha de extender a lo largo y ancho de la tabla, por lo que no se puede dibujar en detalle.
- **Pintura después del pulido:** Con este proceso permite corregir el diseño, pero es más fácil que se dañe en caso de accidente (*Ilustración 81*).



Ilustración 81: Pintura después de pulido



Ilustración 80: Tablas de surf pintadas

4.7.4. LAMINADO

Fase que consiste en la aplicación de la resina con sumo cuidado. Primero se cortan las telas de fibra de vidrio a utilizar, creando dos capas en la parte superior y cantos, y una en la inferior (al estar en contacto con el agua requiere una sola capa). El laminado se realiza siempre empezando por el centro de la tabla, extendiendo la resina con el aplicador (pieza rectangular de goma) hacia los cantos y adentrándose un poco en los bordes del fondo. Las segundas capas se realizan una vez se ha secado la primera y siguiendo el mismo proceso.



Ilustración 82: Laminado tabla de surf

4.7.5. LIJADO Y GLASEADO

La fase final es el lijado y glaseado, para esto se utilizan: lijadora eléctrica (para desbastar y pulir la resina); papel de lija de agua, parte manual del proceso que comienza con una lija gruesa y finaliza con una más fina para un buen pulido; y la taladradora, utilizada para incrustar correctamente el tapón del invento y las quillas.

Finalmente se procede a la fase de glaseado; consiste en dar una última capa de gelcoat (mezcla de resina con estireno para dar una última barrera de protección a la tabla).



Ilustración 83: Lijado tabla de surf

4.8. MÉTODOS DE REPARACIÓN

Existen tablas de surf de diferentes materiales. Las tablas de poliéster son las menos resistentes, seguidas del epoxi y, posteriormente, las tablas de iniciación con materiales de poliestireno o foam.

Es habitual sufrir toques en la tabla dentro del agua, contra las rocas, contra otras tablas o simplemente corriendo hacia la playa y chocando contra una pared. Una tabla de surf con toques es fácil que pueda romperse o partir muy rápidamente si no se repara. Los toques en la tabla de surf permiten que el agua penetre en ella debido a que la capa de resina que la protege deja grietas por las que se filtra el agua, esto puede hacer que la resina se despegue de algunas zonas del foam y puede provocar daños mucho mayores además de conseguir que la tabla de surf coja más peso, incluso puede llegar a aportar un peor deslizamiento de esta sobre el agua.

Normalmente los golpes y grietas suelen darse en el nose o tail de la tabla.

Actualmente se puede optar por dos métodos a la hora de reparar una tabla de surf, la elección de uno u otro depende de la dimensión y gravedad del golpe así como la calidad final que se quiera conseguir una vez reparado:

4.8.2. GOLPE O ROTURA PEQUEÑA (ASTILLADO)

En el caso de que este sea muy pequeño (*Ilustración 86*) se puede utilizar Solarez microlite. Se trata de una pasta de resina de poliéster (*Ilustración 84*) o epoxi (*Ilustración 85*), que ya vienen con la mezcla hecha y cataliza con los UV. Si se busca un buen acabado se puede añadir un pigmento de color que coincida con el de la tabla, para que no desentone la parte reparada. Este material siempre viene acompañado por una lija que ayuda a dejar lisa la superficie dañada.



Ilustración 84: Pasta resina poliéster



Ilustración 85: Pasta resina epoxi



Ilustración 86: Astillado tabla de surf

4.8.3. GOLPE GRANDE O ROTURA TOTAL (GRIETA)

Cuando se produce un golpe mayor, grieta o incluso hay rotura de una parte de la tabla (*Ilustración 87 e Ilustración 88*) la reparación debe realizarse con resina, de poliéster o epoxi (la resina a utilizar tiene que ser de una resina igual a la original). Esta resina se mezcla con el catalizador para conseguir un buen secado y endurecimiento, entre un 1% y un 4% de catalizador será lo ideal (puede variar según la marca de resina y de catalizador). Se realiza la reparación a temperatura ambiente y una vez lista la mezcla (resina + catalizador) se le añaden microesferas de vidrio.



Ilustración 88: Rotura nose tabla de surf



Ilustración 87: Tabla de surf rota por la mitad

El procedimiento para la reparación es el siguiente:

1. Lo primero que se debe hacer es secar bien la tabla, lo recomendable es ponerla al sol o utilizar un secador para que el foam seque más rápido (con precaución ya que a elevadas temperaturas se pueden dañar las partes de resina que bordean la zona).
2. Es importante quitar todos los trozos de astillas y suciedad de la zona dañada, con unas tijeras, cuchillo o cúter para dejar los bordes de la zona dañada con un corte limpio, después, lijar bien la zona para que la resina agarre mejor cuando se aplique. Una vez lijada la zona, con una bayeta de micro fibras o con cualquier trapo que no deje pelusa se limpia bien la zona.
3. El tercer paso es realizar la reparación con uno de los dos métodos descritos anteriormente.
4. Una vez aplicada la resina, para que esta quede repartida de manera uniforme, se coloca un plástico encima para prensarla y moldearla.
5. El último paso para reparar la tabla de surf es lijar la resina. Se lija la zona suavemente con una lija de grano medio (120) y se reemplaza de vez en cuando hasta que la superficie de la tabla queda suficientemente suave al tacto, también se puede realizar con una lijadora eléctrica pero hay que tener un mayor cuidado porque podría pasarse lijando.

4.9. PROBLEMÁTICA ACTUAL

El surf es un deporte que se practica en la naturaleza, todas las personas que lo practican suelen destacar que el poder realizar un deporte así al aire libre, en contacto con el mar, en paisajes tan naturales, sonidos... le da un plus de motivación e interés. Todos los surfistas saben lo importante que es cuidar el medio ambiente, cuidar los mares y tener unas playas y unas aguas limpias en las que la práctica de este deporte sea un disfrute y no un problema debido a la contaminación de estos lugares.

Es un deporte que en su práctica es respetuoso con el medio ambiente, con el cual se convive y respeta, pero muchas personas que lo practican no se dan cuenta de todo lo que puede llegar a contaminar el proceso de fabricación de la tabla con la que tanto disfrutan.

Actualmente los materiales utilizados para la práctica de surf, los cinco a destacar serían: poliuretano, poliestireno, resina de epoxi, resina de poliéster y fibra de vidrio, son materiales muy contaminantes, algunos muy complicados de reciclar y en caso de

hacerlo pocos valen para que se puedan utilizar con la misma función que de primera mano, ya que pierden algunas propiedades.

Además de contaminar el medio ambiente también perjudican a las personas que trabajan con ellos, expulsan gases nocivos que puede provocar graves enfermedades, sobre todo enfermedades respiratorias, a la vez que son peligrosos al tacto, vista u olfato durante su manipulación.

A la hora de la práctica estos materiales también tienen algún otro problema. Cuando se fabrica una tabla lo que se busca principalmente es conseguir una tabla ligera y resistente. Con la combinación de los materiales antes mencionados se consiguen estos requisitos, pero se dejan de lado otros que no se suelen tener presentes a la hora de elegir el material.

No es la primera vez que saliendo de casa, quitando la tabla del coche o mismo apoyando la tabla en la arena mientras el surfista calienta, la tabla sufre un pequeño toque impidiendo así poder surfear ese día ya que es posible que le entre agua a la tabla y con el paso del tiempo se pudra el foam, quedando totalmente inutilizable.

La fibra de vidrio junto a la resina de poliéster es frágil a los golpes, es habitual ver tablas fabricadas con estos materiales las cuales tienen alguna que otra reparación, sobre todo en el nose y en el tail. Sin embargo el epoxi presenta unas mayores propiedades mecánicas y no presenta dicho problema; Pero lo que se gana en dureza se pierde en flex y comodidad a la hora de deslizarse en el agua.

Otro problema interesante a tener en cuenta, no imprescindible ya que se trata de un tema estético, es el amarilleo del foam de las tablas debido a la exposición solar. Al igual que en el caso anterior, las tablas de epoxi no se amarillean.

5. DISEÑO Y FABRICACIÓN

5.1. ESTUDIOS DE REQUISITOS

Los principales requisitos que deben tener el prototipo son los siguientes:

- Resistencia mecánica suficiente para soportar las cargas que tendrá la tabla en el agua.
- Materiales reciclables con baja contaminación, se busca reducir el impacto ambiental.
- Un buen diseño, que cumpla las necesidades y a la vez sea innovador.

En cuanto a las características mecánicas, deben de poder soportar las diferentes cargas que sufre la tabla durante su uso.

Por un lado, la tabla flota sobre el agua. Esto se debe a la fuerza que ejerce el agua sobre ella (principio de Arquímedes). Por otro lado, el surfista, con su peso, aplica una fuerza sobre la tabla que se transmite mediante sus pies. En la *Ilustración 89* se puede ver en rojo donde se aplica la fuerza del surfista generalmente cuando este surfea de pie en la tabla.



Ilustración 89: Zonas de apoyo en una tabla de surf

Por ello, las tablas se fabrican con dos capas de fibra de vidrio en la parte superior, una capa en la inferior, y refuerzos a nivel de los tapones de quillas y del invento.

Las principales roturas de las tablas de surf se producen en medio o en el tercio trasero, es decir entre los pies del surfista. En esas zonas no hay compresión, la rotura está provocada por el efecto palanca situado en medio de las zonas de más compresión. En la *Ilustración 90* se pueden ver las fuerzas que pueden provocar la rotura en el tercio trasero.

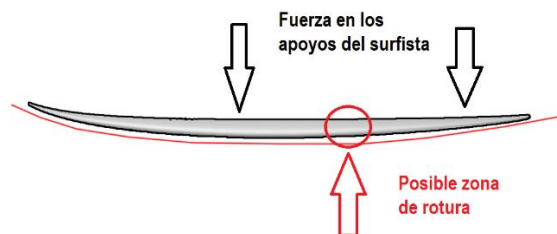


Ilustración 90: Principal zona de rotura de una tabla de surf

Una rotura en medio de la tabla puede ser provocada por dos casos:

- Después de una caída cuando **el labio de una ola** rompe justo sobre la tabla, partiéndola en dos (*Ilustración 91*).

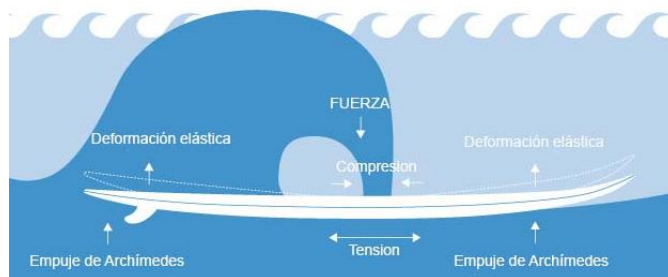


Ilustración 91: Posible rotura de una tabla debido a la fuerza de una ola

- Surfeando, recepcionando mal un aéreo o un floater, con los pies demasiado juntos, la tabla rompe bajo la presión del cuerpo, localizado en la misma zona (Ilustración 92).

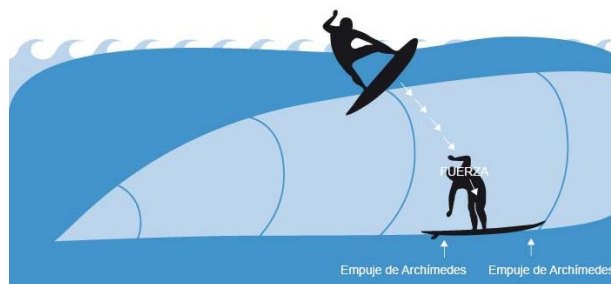


Ilustración 92: Posible rotura de una tabla de surf en su uso en el agua

En ambos casos siempre romperá en medio de la tabla. La primera causa de rotura, debido a una ola, es la más frecuente, ya que pocos surfistas tienen el nivel para hacer aéreos o floater.

También es habitual sufrir una rotura en la punta de la tabla debido a un golpe contra el fondo. No solo ocurre en olas de arrecife, también puede ocurrir en playas de arena. Es habitual que rompa por la punta, nunca por la cola, ya que la tabla está amarrada mediante el invento por la cola de la tabla.

5.2. ESTUDIO BIOMECÁNICO

El surf es un deporte que consiste en deslizarse de pie sobre una tabla a través de la pared de una ola. Actualmente es un deporte muy popular y bastante extendido en las costas habitadas de casi todo el mundo.

Es una actividad de carácter discontinuo, combinando periodos de alta intensidad con periodos de baja intensidad y tiempos de recuperación relativamente cortos. La actividad del surfista empieza cuando este debe de llegar remando a la zona del take-off (Ilustración 93), esta tarea de entrada le puede llevar unos 10 minutos de trabajo intenso, además el surfista debe de realizar la maniobra del “pato” (Ilustración 94), cada vez que se encuentra en su camino con una ola, aumentando la intensidad del ejercicio.



Ilustración 93: Maniobra del take-off



Ilustración 94: Maniobra del “pato”

Una vez el surfista se encuentra en la zona de la rompiente remarará para poder coger la ola, cuando esta le empuje, tendrá que ponerse de pie rápidamente y realizar las maniobras que elija en la pared de la misma. Es un proceso que se repite muchas veces durante la práctica del surf, para ello es necesario un gran equilibrio, cuando esto se tiene dominado se van aprendiendo y practicando las siguientes maniobras: En la pared de la ola, dentro del tubo, etc. Para ello se requiere de equilibrio dinámico, agilidad, movilidad de las articulaciones, flexibilidad, velocidad de reacción, análisis táctico, etc.

Es un deporte que puede ser practicado por todo tipo de personas con diferentes edades, niveles, anatomías, discapacitados físicos, etc. Pero para ello se necesita de una previa preparación física y conocer la técnica correcta para comenzar.



Ilustración 95: Diferentes personas practicando surf (personas mayores, discapacitados físicos...)

En este caso el usuario del prototipo (*Ilustración 96*) de la tabla de surf será un varón de 25 años de edad, 1,85 metro de altura y 80 kg de peso, con un nivel intermedio-avanzado y un buen estado físico.



Ilustración 96: Usuario prototipo

5.3. ESTUDIO MATERIALES

Para la elección de materiales en la fabricación del prototipo de la tabla de surf lo que se busca principalmente es una innovación a la hora de elegir el material por el cual estará compuesto el mismo. Se anteponen materiales más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente, los cuales cumplen las necesidades mecánicas y características esenciales para que el prototipo funcione.

Como se ha comentado anteriormente una tabla de surf básicamente está compuesta por 3 elementos.

- i. Núcleo: Poliestireno expandido, extruido o espuma de poliuretano.
- ii. Matriz: Resina de epoxi o resina de poliéster.
- iii. Refuerzo: Fibra de vidrio.

5.3.1. NÚCLEO

Lo primero es escoger un material para el núcleo. El núcleo es la base de la tabla de surf, debe de soportar una buena resistencia a la presión, ser ligero y fácil de trabajar. Es imprescindible para la flotabilidad de la tabla.

5.3.1.1. CARTÓN “NIDO DE ABEJA”

Es un tipo de panel sandwich (*Ilustración 97*). Está formado por dos láminas delgadas, denominadas pieles, las cuales están pegadas con adhesivo al núcleo. En este caso las láminas y la estructura son de cartón kraft.



Ilustración 98: Estructura panel de abeja

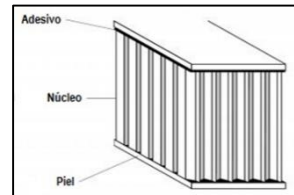


Ilustración 97: Estructura panel tipo sandwich

Son muchas las ventajas que tiene este material:

- ✓ Relación fuerza-peso: es un material fuerte con alta resistencia a la compresión y pesa 5 veces menos que la madera.
- ✓ Amortiguación y absorción de la vibración.
- ✓ Al ser ligero y robusto, abarata los costes derivados del transporte y la fabricación.
- ✓ Es 100% reciclable y biodegradable.
- ✓ Se puede mecanizar con facilidad.
- ✓ Permite cualquier tipo de acabado.

El nido de abeja es un material de estructura alveolar. Habitualmente su geometría es hexagonal, pero dependiendo de las propiedades finales buscadas, se puede sobreexpandir, con lo cual se obtiene un producto flexible en uno de sus ejes, o se puede subexpandir, que permite que el panel cuente con mayores propiedades mecánicas. Destaca por ser un material ligero y con buenas propiedades mecánicas (compresión y flexión principalmente).

Para demostrar estas características a continuación se puede observar una comparativa entre tres estructuras (*Tabla 4*): La primera es una placa de espesor t . La segunda posee dos pieles y un espesor de $2t$, la tercera es igual pero con un espesor mayor, de $4t$. Se ve clara la ganancia de rigidez y resistencia a flexión a medida que aumenta el espesor del núcleo. Sin embargo el peso permanece prácticamente invariable.



Espesor núcleo	0	t	$3t$
Rigidez flexión	1	7	37
Resistencia flexión	1	3,5	9,25
Peso	1	1,03	1,06

Tabla 4: Tabla comparativa de tres estructuras tipo “sandwich”

Existen dos principales procesos de fabricación:

Proceso de expansión:

Es el proceso más utilizado en la actualidad, en él, las láminas del material apiladas, previamente cortado a la medida deseada y que posteriormente conformaran el núcleo, pasan por dos rodillos, los cuales se encargan de suministrar un adhesivo, que se encuentra en gargantas separadas entre sí a la distancia adecuada para su correcta distribución, siendo esta separación la que tendrán posteriormente los nodos al ser expandido el núcleo. Posteriormente se someten a ciertas temperaturas para que finalmente se expandan hasta conseguir la forma que se desee.

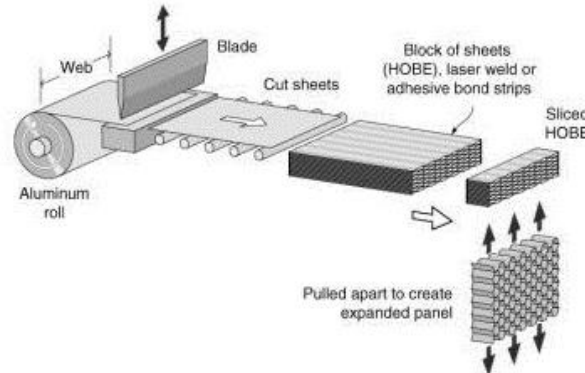


Ilustración 99: Proceso de expansión para producir cartón "nido de abeja"

Proceso de corrugado:

Primero las láminas son cortadas con un ancho del orden del espesor máximo del núcleo deseado o de los espesores normalizados que se deseen. Posteriormente estas laminas pasan entre engranes acanalados para producir la ondulación. Así sucesivamente se irán apilando las hojas hasta obtener el espesor deseado. Finalmente se coloca un adhesivo epóxico para unir las.

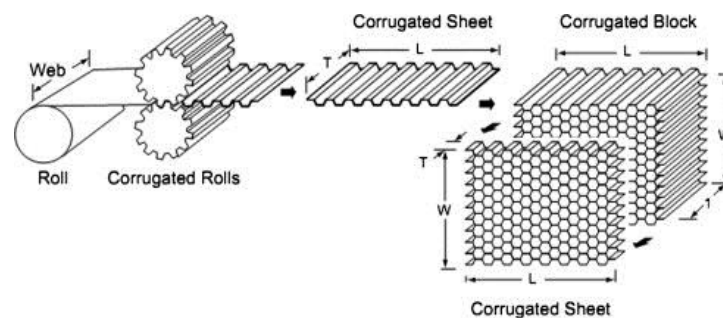


Ilustración 100: Proceso de corrugado producción de cartón "nido de abeja"

En este tipo de estructuras las caras de material compuesto resisten casi todas las cargas en el plano y los momentos de flexión fuera del plano, proporcionan casi toda la rigidez a flexión porque están situadas a una mayor distancia del eje neutro de la estructura. El núcleo proporciona distancia entre las caras y les transmite el cortante como una flexión alrededor del eje neutro de la estructura. El núcleo también suministra la rigidez a cortante a través del espesor y estabiliza las cargas en las caras, así las caras se pueden cargar a niveles de tensión más altos que los que puede soportar cualquier placa delgada sometida a cargas de pandeo.

Las pieles soportan las cargas inducidas por la flexión y el núcleo el esfuerzo cortante que actúa sobre el panel como se observa en la *Ilustración 101*.

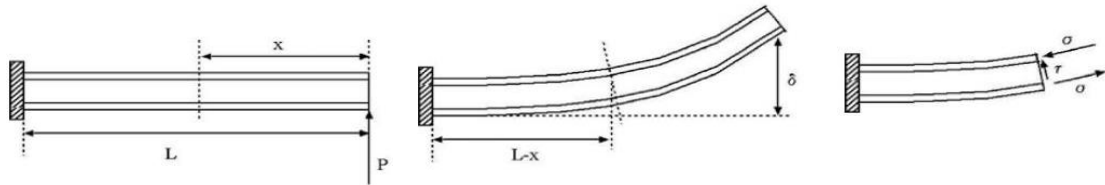


Ilustración 101: Aplicación de una carga P a una estructura de panel tipo sandwich

Por lo tanto los materiales de la piel y el núcleo deben ser capaces de soportar tensiones de tracción, compresión y corte inducidos por las cargas.

El cartón ondulado tiene la capacidad de poderse reciclar muchas veces, y el que esté contaminado o no apto como materia prima, puede ser empleado como combustible.

- **Plastificación del papel y cartón:** Se añaden disolventes químicos al material para que las fibras de papel que lo componen se separen. Una vez separadas se puede pasar a la siguiente fase.
- **Criba de papel y cartón:** Para llevar a cabo el proceso de reciclado es necesario tener una mezcla lo más homogénea posible con lo cual en esta fase se separan los materiales que no son papel o cartón.
- **Centrifugado y triturado del cartón:** Los residuos se deshacen en un contenedor con agua formando una masa uniforme y se separan según su densidad. Posteriormente, el cartón pasa por una trituradora y por distintos filtros dónde pierde el metal, el plástico o la tinta que lo acompaña mediante burbujas de aire.
- **Clasificación del material resultante:** Una vez que está completamente lavado y libre de sustancias contaminantes, la fibra resultante se divide en: *celulosa corta* (utilizada para el papel de periódico) y *celulosa larga* (de donde sale el cartón entre otros materiales).

5.3.1.2. MADERA

La madera es un material compuesto que se presenta en forma natural y está compuesta por células de celulosa reforzadas con una sustancia polimérica llamada lignina y otros compuestos orgánicos. Es un producto con estructura compleja, por lo cual no es un material homogéneo en proyectos de ingeniería, su resistencia es altamente anisotrópica, siendo su resistencia a la tensión mucho mayor en dirección paralela al tronco del árbol.

Los árboles se clasifican en dos grupos principales llamados; maderas blandas (gimnospermas) y maderas duras (angiospermas). Un árbol de madera blanda es el que conserva sus hojas y un árbol de madera dura es el que las pierde cada año. La mayoría de los árboles de madera blanda son físicamente blandos y la mayoría de los de madera dura son físicamente duros, pero hay excepciones. Algunos ejemplos de árboles de madera blanda son el abeto, la picea, el pino y el cedro; mientras que el roble, el olmo, el arce, el abedul y el cerezo son ejemplos de árboles de madera dura.

La resistencia a la compresión de la madera en la dirección paralela al grano (eje longitudinal) es considerablemente más alta que la de la madera perpendicular al grano,

por un factor de 10, aproximadamente. Esta diferencia se debe a que la resistencia de la madera en dirección longitudinal se debe en primer término a los enlaces covalentes fuertes de las microfibras de celulosa cuya orientación principal es longitudinal (*Ilustración 102*). La resistencia de la madera en dirección perpendicular al grano es mucho más baja porque depende de la resistencia de los puentes de hidrógeno más débiles que unen lateralmente a las moléculas de celulosa.

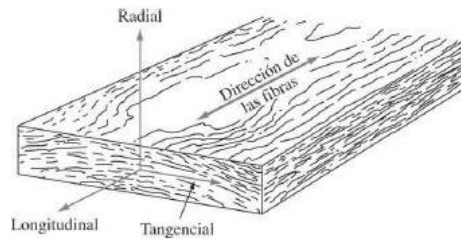


Ilustración 102: Ejes y dirección de fibras en un tablón de madera

5.3.2. REFUERZO

El refuerzo proporciona las propiedades mecánicas al material compuesto, es el material que aporta la resistencia y la rigidez a la estructura final. Como se busca un material más sostenible y respetuoso con el medio ambiente se han estudiado varios. Una fibra muy conocida por sus propiedades mecánicas (fibra de carbono) y otras fibras naturales, se puede decir de estas últimas que cumplen los requisitos medioambientales pero habrá que estudiar si cumplen también los mecánicos.

5.3.2.1. FIBRA DE CARBONO

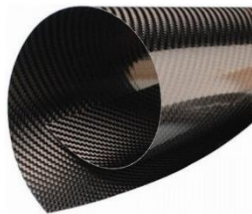


Ilustración 103: Rollo de fibra de carbono

Los materiales compuestos que se fabrican utilizando fibras de carbono para reforzar matrices de resina plástica se caracterizan por tener una combinación de ligereza, muy alta resistencia y elevada rigidez (módulo de elasticidad). Desafortunadamente, el costo relativamente alto de las fibras de carbono limita su uso en muchas industrias. Las fibras de carbono para esos compuestos provienen principalmente de dos fuentes: el poliacrilonitrilo (PAN) y la brea.

Las fibras de carbono se producen a partir de las fibras precursoras de PAN en un proceso de tres etapas (*Ilustración 104*):

1. Estabilización:
2. Carbonización
3. Grafitización

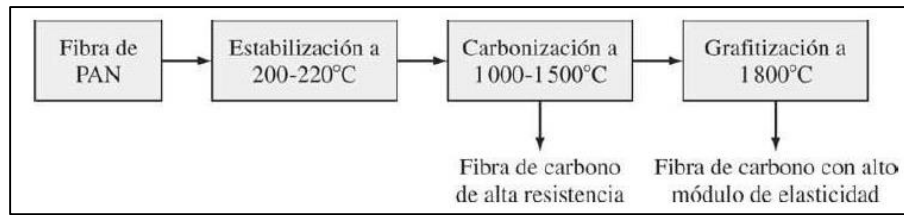


Ilustración 104: Producción de fibras de carbono

Las fibras de carbono tienen una resistencia a la tensión entre 3.10 y 4.45 GPa, aproximadamente, y un módulo de elasticidad que oscila entre 193 a 241 GPa. En general, las fibras con mayor módulo de elasticidad tienen menos resistencia a la tensión. La densidad de las fibras de PAN carbonizadas y grafitizadas suele ser de entre 1.7 y 2.1 g/cm³, mientras que su diámetro final es de 7 a 10 µm, aproximadamente.

5.3.2.2. FIBRAS NATURALES



Ilustración 105: Fibras naturales

El principal desafío asociado al uso de fibras naturales como material de refuerzo de matriz polimérica es la incompatibilidad entre las fibras en estado de entrega y las matrices poliméricas, lo que conlleva a la formación de agregados durante el procesamiento del material compuesto; estos agregados dificultan el proceso de fabricación del compuesto y disminuyen su durabilidad, su resistencia a la humedad y al fuego, limitan sus temperaturas de procesamiento y producen alta variabilidad en propiedades. La incompatibilidad se debe a la presencia de grupos hidroxilo en las fibras naturales, lo cual las torna hidrofílicas, mientras que las matrices poliméricas son hidrofóbicas, conduciendo a una menor fuerza interfacial que cuando se usan fibras de vidrio o de carbono.

Para mejorar la compatibilidad de las fibras naturales con las matrices poliméricas, se aplican a las fibras tratamientos superficiales físicos o químicos. Los métodos físicos se aplican para separar las fibras en filamentos individuales o alterar la morfología de las fibras, generando poros o mayor rugosidad, y con ello mejorar el anclaje mecánico con la matriz. Los tratamientos químicos buscan reducir la polaridad de las fibras para tornarlas menos hidrofílicas.

La mayor dificultad para la utilización de fibras naturales en matrices poliméricas es su fuerte carácter polar, que crea incompatibilidad con la matriz; los tratamientos superficiales tanto químicos como físicos, permiten atenuar este problema y al mismo tiempo disminuir la absorción de agua.

5.3.3.MATRIZ

Una vez estudiado el material del núcleo y el refuerzo; solo queda escoger el material de la matriz. Este tiene que ser una resina capaz de aportar a la fibra las características necesarias para que sea un buen material compuesto. Existen diversas resinas naturales (copal y la colofonia) en la actualidad utilizadas en la construcción, sobre todo en países de sur y centro América, pero son materiales que poseen limitaciones y los cuales no se pueden conseguir con facilidad.

5.3.3.1. RESINAS BIODEGRADABLES

Las resinas empleadas en la fabricación de plásticos biodegradables se dividen en: naturales y sintéticas.

Las resinas naturales (o biopolímeros) tienen como base recursos renovables como el almidón y la celulosa, y los polihidroxialcanoatos (PHA) producidos por microorganismos. Otros polímeros, como las proteínas y las pectinas, pueden también utilizarse, potencialmente, para desarrollar plásticos y polímeros biodegradables. Los polilactidos (PLA), es decir, poliésteres alifáticos formados por polimerización del ácido láctico, se incluyen generalmente en esta categoría, ya que el monómero puede producirse por fermentación.

Los polímeros sintéticos se obtienen a partir del petróleo y de otros productos e incluyen polímeros de poliéster y polietileno. La modificación física o química de un biopolímero natural puede derivar en una pérdida de su biodegradabilidad. Los materiales plásticos convencionales de base petroquímica no se degradan fácilmente en el medio ambiente debido a su alto peso molecular y a su carácter hidrófobo.

Estos bioplásticos pueden procesarse mediante las mismas tecnologías que los materiales termoplásticos convencionales, tales como extrusión, inyección o soplado.

Los plásticos biodegradables no deben considerarse como sustitutos de los plásticos en general, sino sólo para aplicaciones específicas, ya que algunos materiales plásticos tienen propiedades físicas únicas, por lo que serán insustituibles durante mucho tiempo.

Los biopolímeros se pueden clasificar según su fuente (*Ilustración 106*), divididos en tres subgrupos: polímeros basados en recursos renovables (almidón y celulosa), polímeros biodegradables basados en monómeros bioderivados (aceites vegetales y ácido láctico) y biopolímeros sintetizados por microorganismos. Existen otros polímeros basados en recursos renovables pero menos utilizados.

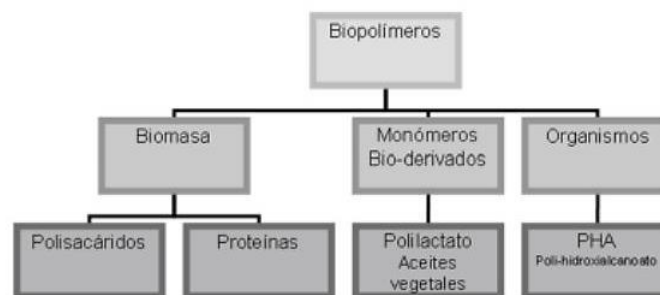


Ilustración 106: Clasificación de biopolímeros según su fuente

Existen resinas fabricadas con técnicas que requieren menos energía y producen productos menos nocivos, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero, favoreciendo así la reducción del impacto ambiental generado. Para conseguirlo se reemplaza el carbono a base de petróleo con carbono renovable a base de plantas. Las materias primas son coproductos o productos de desechos de otros procesos industriales. Este es el caso de la resina epoxi SUPERSAP (*Ilustración 107*).



Ilustración 107: Resina epoxi Bio (SUPERSAP)

5.3.4.ELECCIÓN DE MATERIALES

Para escoger el núcleo se han tenido en cuenta varios aspectos. Lo principal y necesario es que tenga una buena resistencia, ya que de ello dependerá el funcionamiento final del tabla de surf, sin un buen núcleo de nada valdrá el resto. Se busca un material sostenible, respetuoso con el medio ambiente, reciclable y con buenas propiedades mecánicas.

En un principio los primeros materiales en los que se ha pensado han sido: madera y cartón. Ambos son materiales reciclables, sostenibles, no contaminantes ni perjudiciales cuando se trabaja con ellos. La madera queda descartada debido a tres inconvenientes principales: el peso, la dificultad para encontrar planchas de madera de las características necesarias y la complicación para trabajar con ella; con lo cual el material escogido para el núcleo es el cartón “nido de abeja”.

El material de refuerzo en el prototipo será la fibra de vidrio, no se hará ningún cambio con respecto a los materiales utilizados en la actualidad ya que las fibras naturales y la fibra de carbono quedan descartadas debido a los diferentes problemas comentados con anterioridad (Las fibras naturales poseen carencias mecánicas y las de carbono un elevado coste).

Propiedad	Vidrio (E)	Carbono (HT)
Resistencia a la tensión (MPa)	3100	3450
Módulo de tensión (GPa)	76	33
Elongación en el punto de ruptura (%)	4,5	1,6
Densidad (g/cm ³)	2,54	1,8

Tabla 5: Tabla comparativa características entre la fibra de vidrio y de carbono

En la *Tabla 5* se pueden observar las propiedades de tensión y densidad de las fibras de vidrio E comparadas con las de las fibras de carbono. Se observa que las fibras de vidrio tienen valores más bajos de resistencia a la tensión y módulo elástico que las fibras de carbono, pero su elongación es mayor. La densidad de las fibras de vidrio también es más alta que la de las fibras de carbono. Sin embargo, debido a su bajo

coste y versatilidad, las fibras de vidrio son por amplio margen las fibras que se usan más comúnmente como refuerzo para plásticos y serán las utilizadas en este caso.

El material escogido como matriz para la fabricación del prototipo es la resina de poliéster, esto se debe a que es un material ya conocido, el cual crea un excelente material compuesto una vez que se une con la fibra de vidrio; es un material que es muy fácil de conseguir, tiene un coste bajo comparado con otras resinas (como bien puede ser la de epoxi y la de epoxi-Bio) y es fácil de trabajar.

La resistencia de este composite depende sobre todo del contenido de vidrio del material y del arreglo de las fibras de vidrio. Cuanto mayor es el porcentaje en peso de vidrio en el compuesto, más resistente es el plástico reforzado. Cuando hay hilos de vidrio en dirección paralela el contenido de fibra de vidrio puede ser hasta de 80% en peso, lo cual conduce a valores de resistencia muy altos. Cualquier desviación de la alineación paralela de los hilos de vidrio reduce la resistencia mecánica del compuesto de fibra de vidrio.

La fabricación de este material compuesto se realizará con el proceso de colocación manual de capas (*Ilustración 108*). Éste es el método más sencillo para producir una pieza reforzada con fibra.

El refuerzo de fibra de vidrio que normalmente viene en forma de tela se coloca de forma manual en el molde. A continuación se aplica la resina básica (mezclada con catalizadores o aceleradores en algún caso), vertiéndola ya sea con rodillos o escurridores para empapar perfectamente la resina con el refuerzo y expulsar el aire atrapado. Se agregan capas de fibra de vidrio y resina para aumentar el grosor de las paredes de la pieza que se fabrica si se busca una mayor dureza.

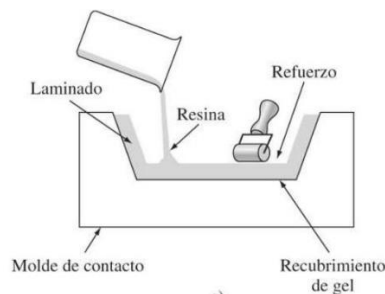


Ilustración 108: Proceso de colocación manual de capas

5.4. ESTUDIO DE TÉCNICAS DE FABRICACIÓN

Anteriormente ya se han comentado las diferentes partes del proceso de fabricación de una tabla de surf: Pre-shape, shapeado, laminado y glaseado.

El shapeado, laminado y glaseado son procesos que realiza el shaper a mano, existen diferentes técnicas. La única operación que se puede realizar por diferentes vías es el corte del núcleo (pre-shape). Lo ideal es realizarlo a través de una maquina CNC, reduciendo el tiempo y la parte de trabajo que conlleva conseguir las diferentes formas en el núcleo de forma manual.

Esta fase se puede realizar por tres vías:

- Corte manual
- Máquina de corte industrial

- Maquina CNC

Debido a la falta de maquinaria y de presupuesto, el pre-shape del prototipo se realizará de forma manual. Para ello hará falta un plano en tamaño real (A0) con el diseño previamente realizado en ordenador y con la ayuda de una sierra se procederá al corte del núcleo, obteniendo así el outline de la tabla.

El shapeado, laminado, glaseado y lijado final se realizará a mano y serán explicados más adelante en el proceso de fabricación del prototipo. Todo el proceso de fabricación se realizará de manera manual.

5.5. ESTUDIO DE GEOMETRÍAS

A la hora de realizar el diseño se ha tenido en cuenta la anatomía de un usuario de 1.85m de altura y un peso de 80 kg. El nivel del surfista es un nivel intermedio-avanzado y se busca un diseño polivalente que pueda ser utilizado en un rango amplio de olas (1 a 4 metros de altura) y poder sacar el máximo rendimiento posible en el agua.

Las principales dimensiones a tener en cuenta son el ancho, el largo y el grosor. De ellas va a depender el volumen de la tabla de surf. Como se ha comentado con anterioridad el volumen es el dato más importante a tener en cuenta a la hora de diseñar una tabla ya que del dependerá la flotabilidad de la misma.

Utilizando la calculadora de volumen que se ha comentado con anterioridad y la gráfica de volumen se conocerán los litros necesarios para un buen funcionamiento. A partir de ese dato se empezará a trabajar en el resto de dimensiones y formas del diseño.

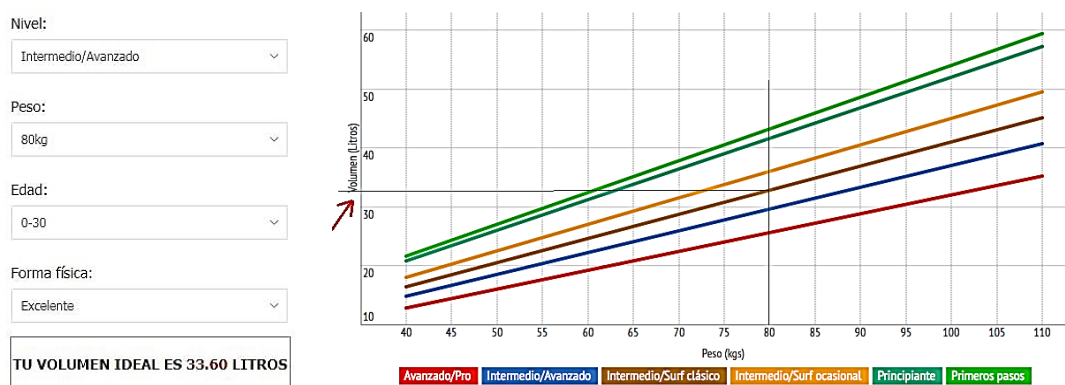


Ilustración 109: Herramientas para el cálculo de volumen del prototipo

Como se puede observar en la *Ilustración 109* el volumen aproximado es de entre 32 y 34 Litros. Una vez conocido este valor se debe establecer el largo y el ancho, luego con el grosor se conseguirá al volumen deseado.

El usuario mide 1.85m y se busca poder surfear olas de entre 1 y 4 m, utilizando la *Ilustración 110* se puede conocer la altura aproximada de la tabla. Debido a la altura de la ola (m) debería ser una tabla de entre 6 y 7 pies (1,8 y 2,3 m), teniendo en cuenta la altura del usuario saldría un valor de alrededor de 6'6" (1,9m).

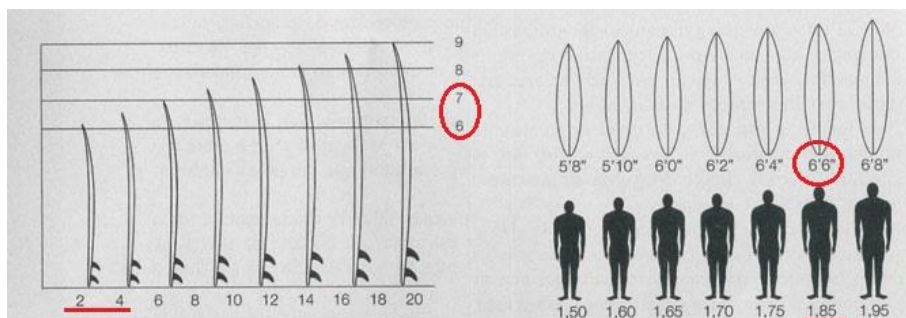


Ilustración 110: Medidas de una tabla de surf a partir de la altura de la ola y del usuario

Para el diseño se ha utilizado un software con el que actualmente trabajan algunos shapers de marcas importantes en el mundo del surf. Este software, AKU Shaper, es un programa de diseño en 3D en el cual se diseña el núcleo de la tabla; bien puede ser para que el shaper haga su posterior moldeado a mano o también tiene la posibilidad de enviar el archivo a una máquina de control numérico y de esta manera el foam ya sale completamente listo para shapear.

Lo primero a realizar una vez que se inicia el programa es elegir la medida de la tabla; teniendo en cuenta que la medida máxima existente en el mercado de cartón “nido de abeja” es de 2 metros y a las conclusiones sacadas anteriormente con las gráficas, se ha escogido una longitud inicial de 6'2" (1,8m); la cual irá variando en función de los parámetros y formas que se vayan estableciendo.

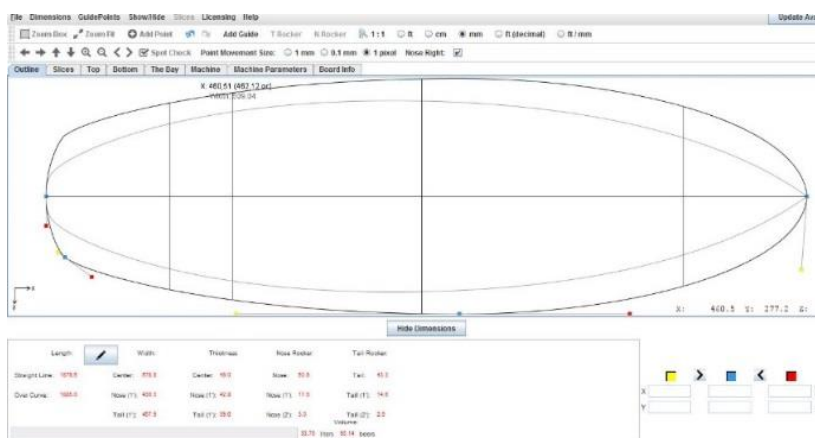


Ilustración 111: Plantilla del software AKU shaper

Una vez abierta la plantilla (Ilustración 111) se modifica el ancho y las formas del tail y el nose. Como se quiere una tabla de aproximadamente 34 L es necesario que esta sea bastante ancha y redonda, de esta manera se consigue una tabla rápida con relativa facilidad para su manejo sobre la ola y con una elevada flotabilidad que permite que esta se pueda utilizar en un rango amplio de olas.

El nose y el tail tendrán un diseño estándar. Como se ha estudiado anteriormente el nose no tiene demasiada relevancia en el desarrollo final de una tabla de surf (excepto los tabloneros) en cambio la cola sí que influye en su deslizamiento y agarre en la ola. Ya que el volumen deseado es alto para la longitud de la tabla, la cola debe de ser lo más ancha posible, siendo del tipo round square. De esta manera se gana volumen y se consigue un plus de velocidad.

Diseño y fabricación de una tabla de surf Ruiz Martínez, Jose Carlos

El rocker se encarga de controlar el flujo de agua. Cuanto mayor sea la curva, se obtiene un mayor control de la tabla en los giros y se pierde velocidad, en cambio, cuando la tabla es muy plana esta gana velocidad pero es más complicado mantener un control de la misma. De esta manera el rocker de la tabla será el que vemos en la *Ilustración 112*, buscando un punto intermedio en el cual la tabla tenga un buen control pero que sea lo suficientemente rápida. La curvatura del rocker es limitada ya que la plancha de cartón tienen un grosor de 50mm, con lo cual el valor entre el punto mayor e inferior de la tabla no puede ser mayor que esta longitud.

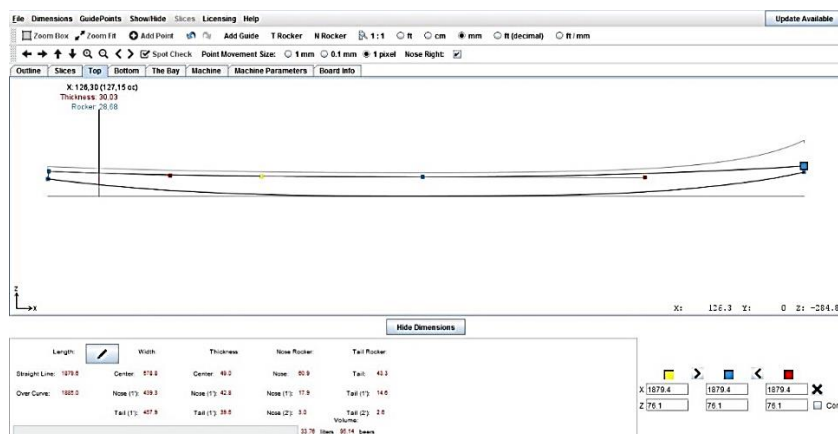


Ilustración 112: Vista perfil prototipo tabla de surf

Los rails o cantos de la tabla ayudan en las transiciones de canto a canto. Se busca que los cantos de la tabla tengan el suficiente volumen para no quedarse “atascados” en la cara de la ola, a la vez también es necesario que sean afilados para conseguir un mayor agarre a la pared de la ola. Serán del tipo med.

Los contornos de la tabla serán planos, tanto el bottom como el deck. Como se busca un gran volumen comparado con el tamaño de la tabla, si en el bottom se realizan operaciones para quitar material y conseguir un bottom en V, cóncavo o doble cóncavo; se perderá una cantidad razonable de volumen (calculando a través del software se reduciría entre 4 y 5 L el volumen) esto se podría solucionar aumentando el grosor, el ancho o el largo, pero como se ha comentado con anterioridad existen algunas limitaciones debido a las dimensiones de la plancha de cartón.

El Edge será tipo hard en la cola (agrega proyección, velocidad, dirección y aceleración, dejando la tabla más dura) y a medida que se avanza hacia el nose este irá variando a tipo soft, con esto se consigue una buena velocidad y dirección pero sin perder movilidad en los giros en la pared de la ola.

Estas tres formas se pueden observar en la *Ilustración 113*: Los contornos, los rails y el edge de cada canto.

Diseño y fabricación de una tabla de surf

Ruiz Martínez, Jose Carlos

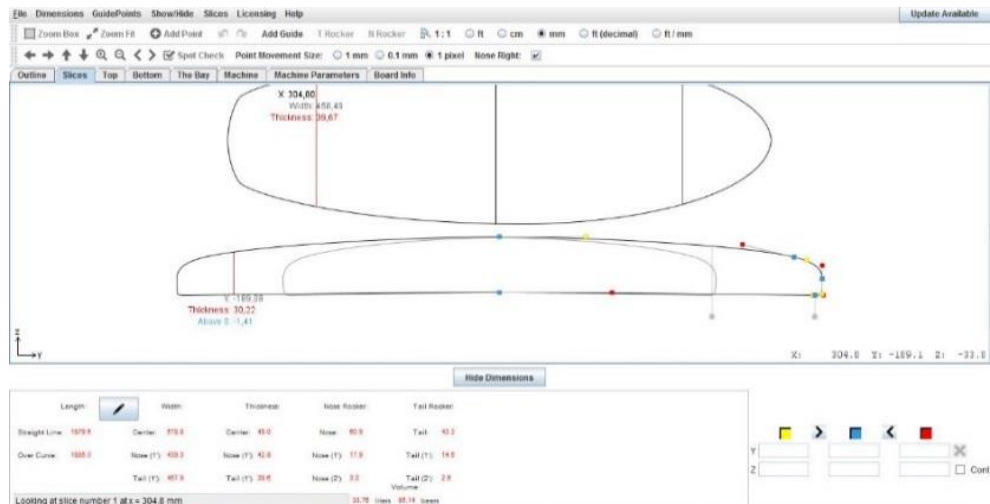


Ilustración 113: Contornos, rails y Edge del prototipo de la tabla de surf

Una vez conocidas las formas y dimensiones de la tabla, se puede observar el diseño en 3D (Ilustración 114) así como sus principales medidas. Con el diseño finalizado se procede a hacer el shapeado del núcleo, siempre teniendo como referencia este diseño.

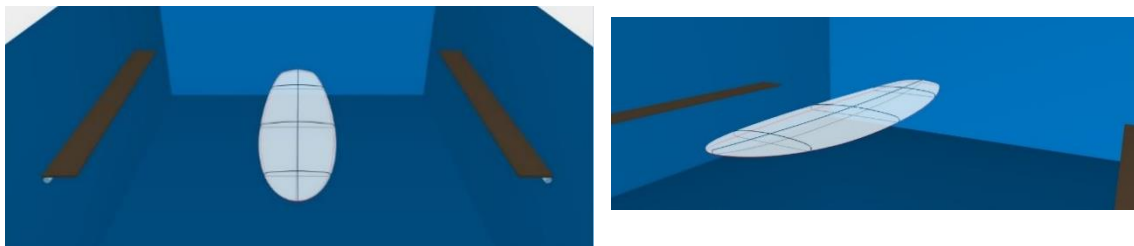


Ilustración 114: Vista 3d del prototipo de la tabla de surf

A continuación se puede observar el plano final del prototipo (Ilustración 115), en el se reflejan las diferentes medidas que se han elegido en su diseño.

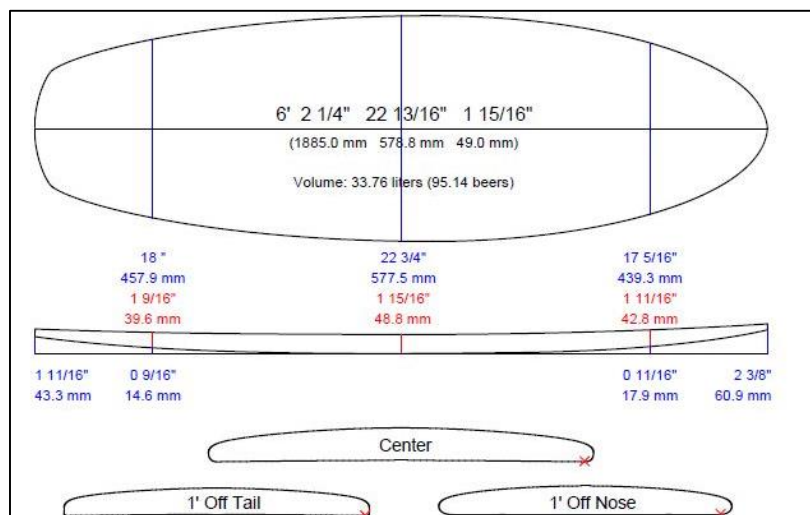


Ilustración 115: Plano 2D prototipo tabla de surf

6. DISEÑO CAD

Para la realización del diseño de la tabla de surf en 3D se ha utilizado el Software AKU Shaper.



El diseño se realiza de una forma fácil e intuitiva, partiendo siempre de una plantilla en la cual se van modificando las medidas. Cada elemento del diseño se personaliza mediante el uso de curvas compuestas por líneas continuas fluidas controladas a través de 3 puntos de control que coinciden exactamente con los contornos de su tablero. En AkuShaper, el punto de control central es azul. Las tangentes de control son amarillas y rojas.

Con estas herramientas de diseño, se puede crear casi cualquier forma de tabla. Cada página de diseño incluye analíticas completas de volumen, centro de masa, ancho, grosor y medidas de balancín calculadas continuamente a través del tablero con solo mover el mouse.

AkuShaper ofrece tanto al diseñador de la tabla como a la persona que practica surf la capacidad de trabajar juntos y realizar cambios aislados en partes específicas (o aspectos) de la tabla sin modificar las demás variables.

Este Software tiene la posibilidad de conectarse a una máquina de corte CNC (*Ilustración 116*) con una precisión submilimétrica. De esta manera el núcleo ya saldría listo para laminar, evitando así todo el proceso de shapeado.



Ilustración 116: Máquina de corte CNC

El diseño se ha realizado con el software mencionado ya que este ofrece varias facilidades a la hora de diseñar las diferentes partes de la tabla, dando a conocer en todo momento el volumen de la misma. El valor del volumen es un elemento muy importante y una referencia a tener en cuenta en el diseño del prototipo.

Una vez que se conoce el diseño y sus dimensiones en planos 2D se proceden a realizar el prototipo en 3D en un programa de diseño CAD, en este caso el programa escogido es el CATIA V5.

Para realizar el diseño se tienen en cuenta las dimensiones y formas del plano 2D de la *Ilustración 116*. Extrusionando el croquis se obtiene la forma del núcleo. Con ayuda del redondeo de las esquinas y quitando material en la zona del bottom (inferior) se consigue el diseño en 3D del núcleo.

Para tener una imagen previa a la fabricación del prototipo se ha introducido en el núcleo el plug del invento, el plug de las quillas y una quilla en el medio en la zona trasera de la tabla ya que es la distribución que se quiere realizar en un principio.

Quedando de la siguiente forma:

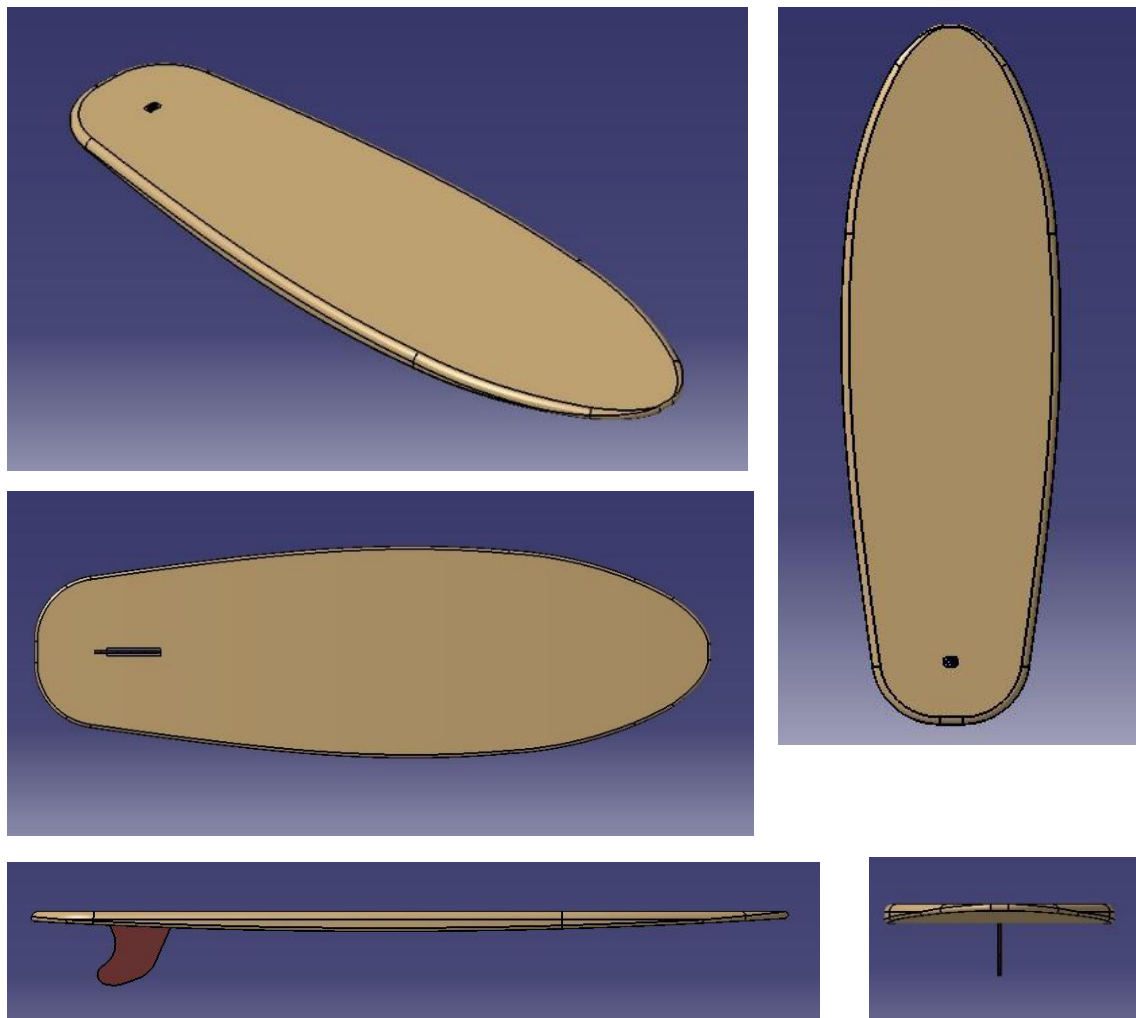


Ilustración 117: Diseño 3D prototipo en Catia V5

7. ENSAYOS Y CÁLCULOS

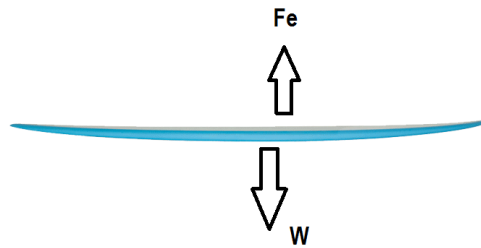


Ilustración 118: Fuerzas que se ejercen en la tabla en estático

El principio de Arquímedes es un principio físico que afirma: «Un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo, experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso de la masa del volumen del fluido que desaloja». Esto valdría para poder calcular cual sería el peso que aguanta el prototipo en estático.

Para que la tabla flote, el peso tiene que ser igual a la fuerza de empuje creada por el fluido, en este caso el agua (Ilustración 118). De esta manera se conoce cuál es el peso máximo que aguantará la tabla en estático.

$$F = W = \rho \times g \times V \quad \rho = 1020 \text{ kg/m}^3 \quad g = 9,81 \text{ m/s} \quad V_{\text{tabla}} = 34L = 0,034\text{m}^3$$

$$F = W = 1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{9,81\text{m}}{\text{s}} \times 0,034\text{m}^3 = 340,21 \text{ N}$$

$$\text{El peso que soportaría sería de } \frac{340,21\text{N}}{9,81\text{m/s}} = 34,68 \cong 34,7 \text{ kg}$$

34,7 kg es el valor en el caso de que la tabla esté estática flotando en el agua, una vez que el surfista empieza con la remada y la ola lo empuja este valor aumenta debido a las fuerza de sustentación que ejerce el fluido (agua) sobre la tabla.

Sabiendo que el empuje generado por la tabla es de 340N se puede llegar a conocer la fuerza de sustentación mínima para que la tabla flote con el surfista encima. Este valor debe que ser mayor o igual al peso menos el empuje (Ilustración 119).

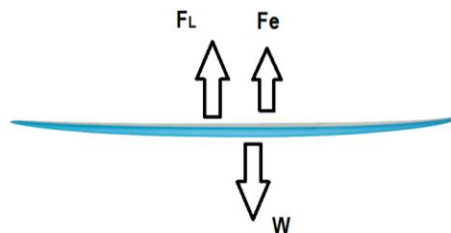


Ilustración 119: Fuerzas que se ejercen en la tabla en movimiento

$$F_L = W - F_e$$

$$F_L = 784 - 340 = 444\text{N}$$

$$W = m * g = 80\text{kg} * \frac{9,81\text{m}}{\text{s}^2} = 784\text{N}$$

$$F_L = \frac{1}{2} * A * C_L * \rho_a * V^2$$

De esta forma se conoce el valor de la fuerza de sustentación mínima para que esta flote, siendo de 444N.

En cuanto al impacto ambiental, una vez conocidos los materiales que se utilizarán en el proyecto, se puede saber si este se reduce o no y de qué manera.

Para que exista una reducción de la contaminación y del impacto ambiental de los materiales es necesario la reducción de una de estas vías o del máximo de vías posibles: Reducción de cantidad de material (peso), cambio de material, procesos de producción más efectivos, fin de vida más adecuado...

Dos datos importantes a tener en cuenta en el impacto ambiental es la huella de carbono y el Embodied Energy (energía incorporada).

- La huella de carbono mide la totalidad de gases de efecto invernadero emitidos por efecto directo o indirecto de un producto.
- La energía incorporada es la energía consumida por todos los procesos asociados con la producción de un producto, desde la extracción y el procesamiento de recursos naturales hasta la fabricación, el transporte y la entrega del producto.

Se puede ver en el gráfico inferior (*Ilustración 120*) la relación que existe entre los 5 materiales utilizados en la actualidad y el cartón “nido de abeja”. En ella se refleja la relación entre la huella de carbono y la energía incorporada. En ella queda reflejado que la resina epoxi junto al poliestireno es la más contaminante, mientras que el cartón y el vidrio (pirex) del cual está conformada la fibra de vidrio son los más sostenibles.

Aunque la resina epoxi junto al poliestireno cree una mayor contaminación que el poliéster y la resina de poliuretano, esto se ve compensado en la duración del material, ya que las tablas fabricadas con este material tienen una mayor vida útil, reduciendo así de forma indirecta la contaminación del mismo.

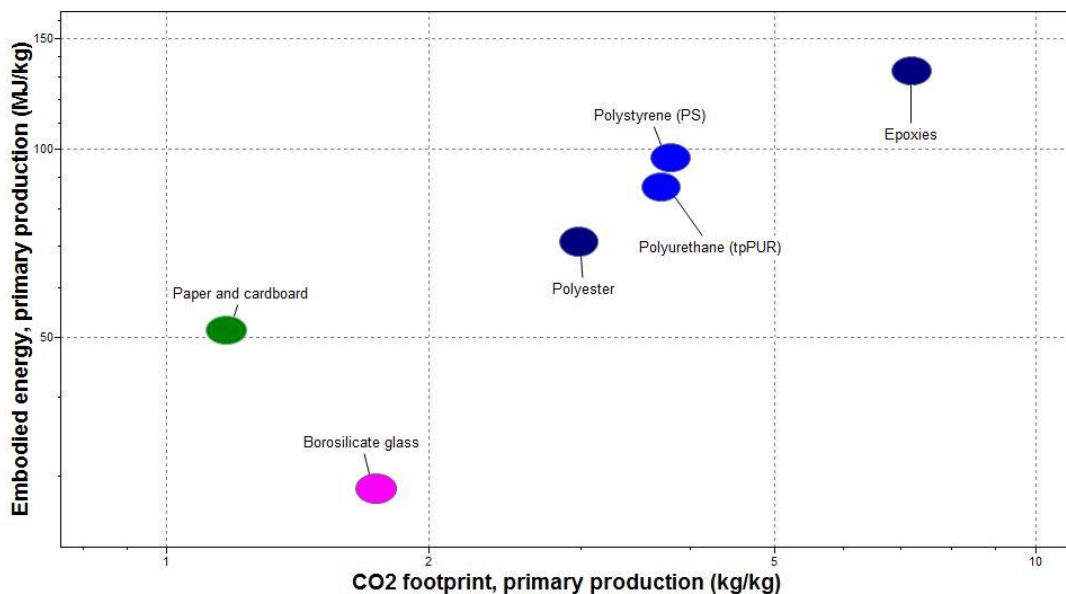


Ilustración 120: Gráfico foodprint vs Embodied Energy de los materiales utilizados en la industria del surf comparado con el cartón “nido de abeja”

A continuación se pueden observar los diferentes valores de la huella de carbono (kgCO₂/kg) y la energía incorporada (MJ/kg) de cada material.

Espuma de Poliuretano	Por kg	Núcleo (1,2kg)
Embodied Energy (MJ/kg)	85	102
Huella de carbono (Kg CO ₂)	3,72	4,64

Tabla 6: Huella de carbono y energía incorporada espuma de poliuretano

Poliestireno expandido	Por kg	Núcleo (1,2kg)
Embodied Energy (MJ/kg)	102	122,4
Huella de carbono (Kg CO ₂)	3,7	4,44

Tabla 7: Huella de carbono y energía incorporada EPS

Cartón	Por kg	Núcleo (0,5kg)
Embodied Energy (MK/kg)	50	25
Huella de carbono (Kg CO ₂)	1,29	0,65

Tabla 8: Huella de carbono y energía incorporada cartón

Resina epoxi	Por kg	(1,5kg)
Embodied Energy (MJ/kg)	80	120
Huella de carbono (Kg CO ₂)	7,2	10,8

Tabla 9: Huella de carbono y energía incorporada resina epoxi

Resina poliéster	Por kg	(1,5kg)
Embodied Energy (MJ/kg)	74	111
Huella de carbono (Kg CO ₂)	6,7	10,5

Tabla 10: Huella de carbono y energía incorporada resina poliéster

Fibra de vidrio	Por kg	(0,5kg)
Embodied Energy (MJ/kg)	27	13,5
Huella de carbono (Kg CO ₂)	2,6	1,3

Tabla 11: Huella de carbono y energía incorporada fibra de vidrio

El principal cambio realizado en la fabricación del prototipo respecto a una tabla tradicional es el núcleo, que pasa de ser de poliuretano o poliestireno a cartón “nido de abeja”. A continuación en la *Ilustración 121* e *Ilustración 122* se puede ver la comparativa entre los 2 tipos de tablas utilizados en la actualidad (1 y 2) y la comparación entre ellas y el prototipo (3).

1. Tabla de surf con núcleo de poliuretano, fibra de vidrio y resina poliéster.
Peso total: 3,2 kg
2. Tabla de surf con núcleo de poliestireno, fibra de vidrio y resina epoxi.
Peso total: 3,2 kg
3. Tabla de surf con núcleo de cartón “nido de abeja”, fibra de vidrio y resina poliester.
Peso total: 2,5 kg

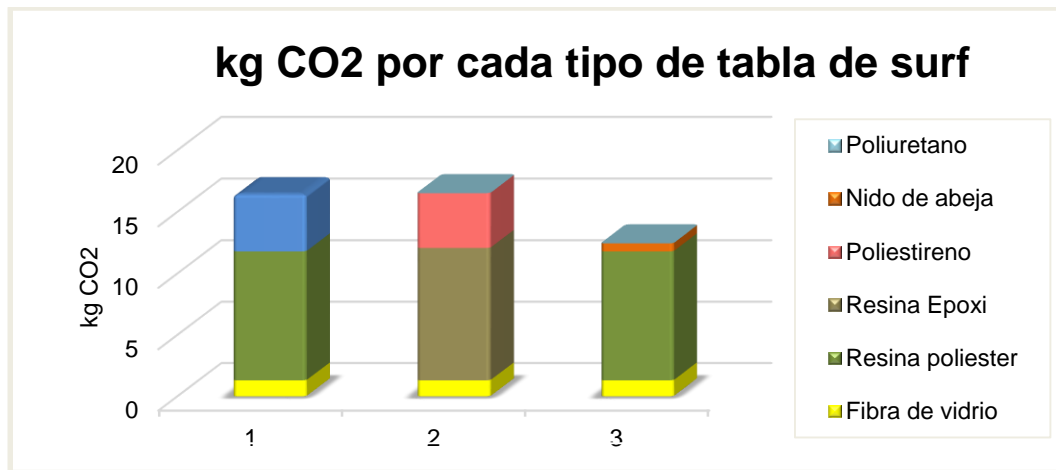


Ilustración 121: Gráfica de la huella de carbono kg CO₂ por tipo de tabla de surf y material

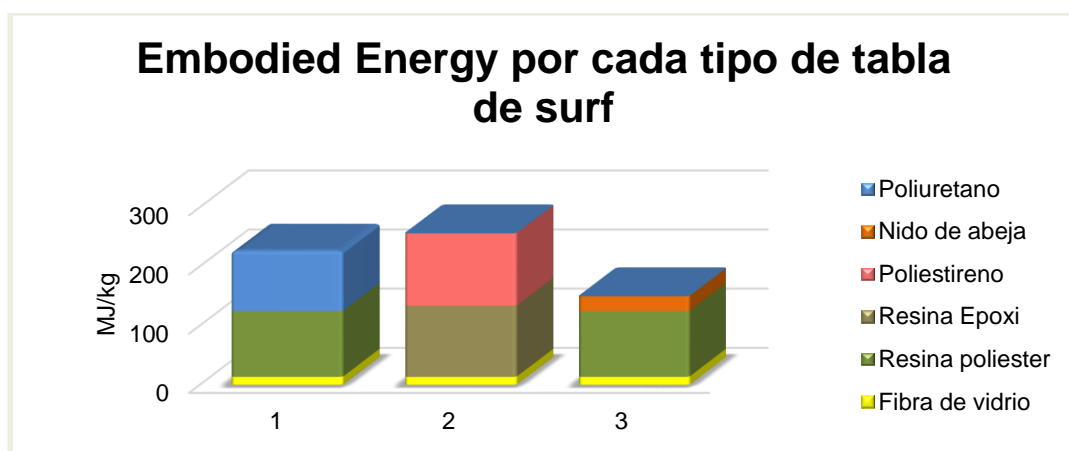


Ilustración 122: Gráfica de la energía incorporada (MJ/kg) por tipo de tabla de surf y material

En las gráficas se puede comprobar como existe una reducción de la huella de carbono y de la energía incorporada, reduciendo así el impacto ambiental. Las emisiones de CO₂ y a energía incorporada total de cada tabla son las siguientes (Ilustración 123 e Ilustración 124):

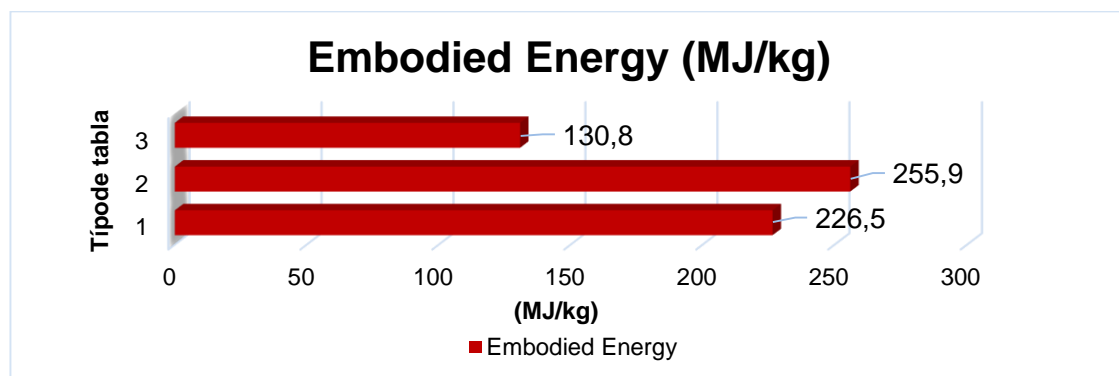


Ilustración 123: Energía incorporada (MJ/kg) total de cada tipo de tabla

Se observa como hay una disminución considerable en cuanto a la energía incorporada, llegando a reducir casi a la mitad este valor.

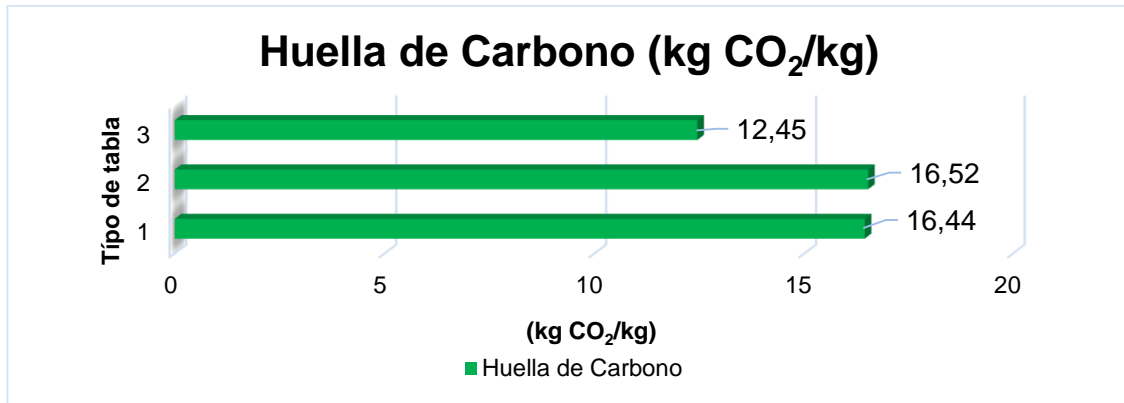


Ilustración 124: Huella de carbono (kg CO₂) de cada tipo de tabla

La huella de carbono también es menor en el prototipo, reduciendo en hasta cuatro unidades este valor.

La reducción de ambos valores viene dado por el cambio del material del núcleo. En el conjunto de todas las partes de la tabla, esta es la que tiene un mayor volumen. Al realizar la sustitución por cartón “nido de abeja” se observa una mejora ya que este es un material 100% reciclable, sostenible, y tiene una energía incorporada y unas emisiones de CO₂ mínimas debido a la facilidad de obtención y producción del mismo.

También se puede observar una clara reducción del peso, debido a la densidad del cartón “nido de abeja”, ganando ligereza y flotabilidad.










Se puede decir que existe una mejora en cuanto al impacto ambiental en el caso de que las tablas tengan un tiempo de vida útil similar, ya que es un dato importante a tener en cuenta.


8. FABRICACIÓN PROTOTIPOS

8.5. MATERIA PRIMA




CARTÓN “NIDO DE ABEJA”	
RESINA DE POLIÉSTER	
ESTIRENO PARAFINADO	
LAMINAS DE CARTÓN	
FIBRA DE VIDRIO 4Oz	
TAPÓN INVENTO	
TAPÓN QUILLAS	

8.6. HERRAMIENTAS

Squeegee:	Es una espátula de plástico que sirve para distribuir la resina líquida transparente sobre la malla de fibra de vidrio. Al ser blanda y flexible, el squeegee se adapta a las curvas de la tabla de surf sin dañar el foam. Se limpia con disolvente.	
Papel de lija grano 120:	Se utiliza para realizar el acabado del shape.	
Lijadora rotativa	Permite lijar la tabla después del gelcoat, para obtener un aspecto liso.	
Disco de lijar:	Se utilizan con la lijadora rotativa. Son necesarios granos de 80, 120, 180, 240, 360 y 500 para ir lijando el gelcoat, empezando con el grano más basto hasta el grano más fino.	
Disco de pulir:	Permiten conseguir un aspecto brillante. Son discos con base de espuma, y de un grano muy fino, desde 1000 hasta 2000.	
Broca con corona para madera:	Permite abrir los agujeros para los plugs del invento y de las quillas.	
Sierra de mano:	Permite realizar el corte del contorno en el preshape del núcleo de cartón.	
Brocha:	Permite repartir la resina de manera equitativa en el núcleo.	
Cinta métrica:	Permite medir las diferentes dimensiones para marcar el diseño en el núcleo.	

Envase para la resina	Permite depositar la resina para su posterior vertido en la tabla.	
-----------------------	--	---

8.7. MATERIAL DE SEGURIDAD

Mascarilla protectora	Permite proteger la boca y la nariz de los vapores nocivos que emite la resina.	
Gafas Protectoras	Permite proteger los ojos de la agresividad de los gases de la resina.	
Guantes de latex	Permite proteger las manos del posible contacto con la resina.	

8.8. PROCESO DE FABRICACIÓN

Una vez conocido el diseño, los materiales, las herramientas y el material de seguridad se proceden con la fabricación del prototipo. Como se ha comentado con anterioridad la fabricación de una tabla de surf consta de 4 partes diferenciadas. La primera es el corte del núcleo (pre-shape), segundo el shapeado, laminado y por último el glaseado y acabado final.

Aunque no es una parte del proceso de fabricación como tal, lo primero y esencial es tener y organizar un buen lugar de trabajo y las herramientas. En mi caso el taller de trabajo será el que podemos observar en la *Ilustración 125*. Es un lugar luminoso, amplio, fácil de trabajar, con herramientas a mano y ventilado.



Ilustración 125: Proceso previo al corte del núcleo

Las principales herramientas necesarias serían una sierra, un cúter, lijadora, brochas... Más adelante comentaremos como y para qué utilizamos cada herramienta.

8.1. PRE-SHAPE

La primera parte es el corte del núcleo, como se ha explicado anteriormente la manera de cortar el mismo puede ser manual, con máquinas de corte industrial o con máquinas CNC. En este caso el corte se realizará de manera manual. Para ello se necesita una sierra y previamente conocer el corte a realizar.

Para poder realizar este corte con exactitud se debe conocer la forma del diseño. Para ello se ha colocado la plancha de cartón de 2 metros por 60 cm en unos caballetes y se ha pegado encima el plano en tamaño real del diseño creado anteriormente con un programa de diseño en 3D.

Con la ayuda de un cúter se repasa la línea del contorno de la tabla para dejar la forma marcada en el cartón para su posterior corte (Ilustración 126).



Ilustración 126: Corte del núcleo

Una vez que la forma está marcada en el cartón se realiza el corte con la sierra, este corte tiene que hacerse con cuidado si se quiere preservar las medidas y formas del diseño inicial. En la *ilustración 128* se puede observar cómo se realiza el corte del núcleo

y en la *Ilustración 127* como queda una vez que está finalizado por completo este proceso.



Ilustración 128: Corte lateral del núcleo



Ilustración 127: Núcleo cortado

En la fabricación actual de tablas una vez realizado este proceso ya se podría pasar al shapeado y comenzar a darle forma las diferentes partes del núcleo (rails, deck, rocker...). En este caso, el núcleo de cartón aún necesita una serie de operaciones para llegar al acabado final que se espera de él, tanto a nivel visual como de propiedades mecánicas.

Lo primero, y en parte por lo cual se ha elegido este cartón, es la parte visual. Se busca fabricar una tabla “transparente”, para ello es necesario quitar la capa superior e inferior de cartón y de esta manera se verán las celdas del cartón “nido de abeja”. Como se refleja en la *ilustración 129* es un trabajo que requiere tiempo y es bastante costoso ya que las capas de cartón están pegadas y no sale con facilidad. Para ello se ha utilizado una lija y un cúter.



Ilustración 129: Proceso de limpieza del núcleo

Una vez que el núcleo está totalmente limpio ya se puede trabajar en él. Como se ha estudiado anteriormente el cartón nido de abeja tiene una gran resistencia a compresión pero al ser una plancha tan grande se observa en la *Ilustración 130* que presenta una gran flexión, esto se debe a que no posee ningún refuerzo longitudinal (alma) que contrarreste esta deformación.



Ilustración 130: Flexión del núcleo

Lo siguiente a realizar sería incluir un alma en el núcleo. Esta alma será de cartón, el cual será endurecido posteriormente con resina de poliéster.

El primer paso es medir el alma, se busca un alma de la longitud de la tabla (6,2'). En la *Ilustración 131* se puede ver cómo es el método empleado para el corte del alma, con la ayuda del plano en tamaño real se mide la longitud total y con ayuda de un cúter se corta el cartón por la zona marcada.



Ilustración 131: Corte del alma

Para darle rigidez se impregna el cartón con resina de poliéster, está se encargará de darle la dureza necesaria y además valdrá de impermeabilizante en un futuro. Una vez que el alma está cortada se introduce en el núcleo (el cual previamente tiene que tener una apertura hasta la mitad de su grosor desde el tail al nose).

Diseño y fabricación de una tabla de surf Ruiz Martínez, Jose Carlos



Ilustración 132: Introducción del alma en el núcleo

Para darle mayor rigidez a la estructura, se le añaden tiras de cartón por los bordes (*Ilustración 133*), lo que también valdrá de refuerzo para los golpes que pueda tener en un futuro. Con ello se consigue una mayor rigidez en la tabla.



Ilustración 133: Proceso de pegado del contorno con cartón

De todas formas no es suficiente ya que lo que se busca es que el cartón también tenga rigidez para poder trabajar en él y darle la forma a las diferentes partes de la tabla. Al igual que con el cartón del alma se impregnará con resina de poliéster para darle la rigidez y a la vez la impermeabilidad suficiente para que sea seguro en un futuro en caso de que la tabla sufra una vía de agua debido a un golpe o rotura. En la *Ilustración 134* se puede observar el proceso de endurecimiento del núcleo.



Ilustración 134: Proceso de endurecimiento del núcleo con resina de poliéster

8.2. SHAPEADO

Una vez que el núcleo está listo se da paso a la segunda etapa de fabricación, el shapeado. Es de las más importantes ya que de la calidad y características del acabado de las diferentes partes dependerá el funcionamiento final de la tabla.

Para realizar todo el proceso de shapeado hacen falta cuatro herramientas; una lijadora, un cúter o sierra para terminar de cortar bien las zonas que no estén bien definidas, y algún instrumento de medida tanto de longitud como angular, en este caso un metro y un transportador de ángulos. Con los datos previamente establecidos en el modelo 3D se conocen las diferentes medidas y formas que se buscan en el núcleo.

El nose y el tail de la tabla ya tiene la forma definida, faltan los rails (low boxy), el deck (plano), el bottom (plano), el rocker y el edge (soft). Para realizar todas estas formas se utiliza una lijadora y con la ayuda de los instrumentos de medida se va puliendo y quitando material hasta llegar a la forma deseada (Ilustración 135).



Ilustración 135: Proceso de lijado del núcleo

Una vez realizado este paso el núcleo ya está listo para pasar a la siguiente etapa (laminado) y esta será la forma final que obtenga el núcleo (Ilustración 136).



Ilustración 136: Núcleo listo para laminar

8.3. LAMINADO

En esta fase lo que se busca es proteger el núcleo, aquí es donde se aplica la capa protectora que se encarga de dar dureza a la tabla. Para ello hace falta la fibra de vidrio y la resina de poliéster. Este es un proceso que requiere de un sumo cuidado, hay que realizarlo con varias medidas de seguridad (protección manos, mascarilla, lugar ventilado...). Es un proceso del cual depende el aspecto final de la tabla.

Diseño y fabricación de una tabla de surf
Ruiz Martínez, Jose Carlos

Como se ha comentado con anterioridad hacen falta aproximadamente 6 metros de fibra de vidrio (4 para el deck ya que estará cubierto por dos capas y 2 para el bottom) y resina de poliéster. Las herramientas a utilizar son: Un squeegee (enjugador) para esparcir la resina encima de la fibra a lo largo de la tabla y un recipiente en el cual se verterá la resina.



Ilustración 137: Refuerzo de fibra de vidrio para las quillas

Para realizar el proceso de laminado lo primero es colocar el foam en los caballetes y comprobar que quede bien sujeto. Una vez que el núcleo está sujeto se procede a colocar la fibra de vidrio sobre él (en la zona de las quillas se coloca una capa más de fibra para que sirva como refuerzo (*Ilustración 137*)), se vierte la resina de poliéster en el recipiente y se va derramando y esparciendo la resina sobre la fibra de vidrio con ayuda del squeegee (*Ilustración 139 e Ilustración 138*).



Ilustración 139: Fibra de vidrio encima del núcleo



Ilustración 138: Distribución de resina de poliéster con squeegee

Una vez que queda empapada toda la fibra se deja secar al sol; se repite el mismo proceso en el deck y por último se coloca otra capa en la parte superior.



Ilustración 140: Proceso laminado en el bottom



Ilustración 141: Bottom de la tabla laminado

Una vez llegado a este punto, la tabla no adquiere la rigidez necesaria para asegurar un buen acabado y funcionamiento. Por lo que se detiene la fabricación del prototipo en la búsqueda de posibles mejoras o cambios a realizar para conseguir la rigidez necesaria.

No obstante una vez conseguida la rigidez que se busca el proceso seguiría con el glaseado y el lijado final.

8.4. LIJADO FINAL Y GLASEADO

Una vez que está laminado el núcleo por toda la superficie, con ayuda de una broca con corona se realizan los agujeros para introducir los tapones de las quillas y del invento.

Primero se realizan las marcas de las medidas y con ayuda de la broca se realizan los agujeros. Con ayuda de un taladro se extrae todo el material del núcleo hasta tocar la capa de fibra de vidrio de la parte superior. En un recipiente de plástico se realiza la mezcla de resina de poliéster y microesferas de vidrio (para darle una mayor rigidez) y se vierte en los agujeros hasta llegar a llenar unas 3/4 partes del agujero. Luego se introducen los tapones y se deja secar.

Para el lijado final es necesario una lijadora eléctrica y papel de lija de agua de diferentes tamaños de grano (120, 180, 240, 300 y 500). Una vez lijada y pulida toda la superficie de la tabla se procede a dar una última capa de gelcoat el cual consiste en una mezcla de resina con estireno para dar una última barrera de protección a la tabla.

9. ANALISIS ECONÓMICO

En cuanto al análisis económico este se realizara de la forma que se ha explicado en el proceso de fabricación. Teniendo en cuenta los materiales necesarios para su fabricación y todo el proceso de fabricación, desde el inicio hasta el acabado final aun que actualmente no se sepa con exactitud la cantidad necesaria de cada material para resolver el problema de la falta de rigidez del núcleo. Los productos necesarios para la fabricación son los siguientes: En ella se incluyen los materiales y las herramientas imprescindibles para su fabricación.

Producto	Dimensiones	Cantidad	Coste (€)
Cartón nido de abeja	600x2000x500mm	1	16,60
Plano A0	2000X841mm	1	4
Sierra		1	7,5
Brocha		2	2 x 1,5
Catalizador		1	2,2
Lijas (120, 180, 240, 300, 500)	1000 mm x 6	6	6 x 1
Fibra de vidrio Aerialite E-Glass	686x12000 mm	6	27
Resina poliester H61-UV	2,5 kg	1	25,15
Estireno parafinado	125 mL	1	2,8
Tapón del invento		1	2
Tapón quillas		2	2 x 4,5
Microesferas de vidrio	1 L	1	8,1
Total			113,35

Tabla 12: Productos y costes

El total de los materiales y las herramientas necesarias para la fabricación del prototipo es de 113,35€, este es un valor aproximado ya que debido a la falta de rigidez del núcleo no se conoce con exactitud la cantidad de material necesario.

Las horas invertidas en el prototipo suman un total de 120 horas contando el diseño del mismo más la fabricación hasta el proceso de laminado de la capa inferior de la tabla, se calcula un valor de 240 horas para terminar el proceso completo. En caso de no surgir ningún problema se estima que tiempo de fabricación del prototipo es de entre 70 y 100 horas.

Contando la mano de obra, las horas trabajadas y el material, siendo la hora de trabajo de un valor de 10€, saldría un valor de alrededor de entre 820€ y 1120€. Esto se debe a que es la primera vez que se realiza el proceso de fabricación con lo cual alguna fase ha sido más lenta y costosa de lo habitual. A medida que se gana experiencia y se obtiene una buena organización del lugar de trabajo este valor se reduciría de manera considerable. Existen muchas horas de secado y de espera para poder pasar a procesos posteriores, con lo cual existen algunas horas vacías que se podrían aprovechar para realizar proceso en otras tablas en el caso de trabajar en más de un producto.

En el mercado actual las tablas de surf estándar tiene un valor de entre 300€ y 600€ dependiendo del material, número de cajetines de quillas, tamaño, color, etc. Esto se debe a la fabricación en serie impidiendo así que existan horas vacías y con maquinaria que facilita todos los procesos de secado, corte, etc.

El principal inconveniente del prototipo respecto a los sistemas de fabricación actuales es el núcleo. Ya que requiere una gran cantidad de horas de trabajo para obtener un buen acabado.

10. CONCLUSIONES FINALES

Con este prototipo se busca dar una solución real a los materiales utilizados actualmente en la industria del surf. Buscando así materiales que cumplan las mismas especificaciones técnicas pero que a la vez sea respetuosos con el medio ambiente.

Una vez realizado el estudio y elegidos los materiales se procede a la fabricación del prototipo. Llegando a la conclusión de que el único material que se puede remplazar es el del núcleo, ya que no es fácil encontrar unos buenos sustitutos para el material compuesto (fibra de vidrio + resina de poliéster). No obstante al sustituir cualquier material actual del cual están compuestos los núcleos por cartón “nido de abeja” los valores de kg de CO₂ y la energía incorporada (MJ/kg) se ven claramente reducidos.

En cambio, durante el proceso de fabricación aparecen algunos problemas y defectos que presenta el núcleo de este material. Es un material que aguanta una alta carga a compresión y al impacto, pero posee una flexibilidad entre el nose y el tail muy alta; con lo cual requiere de varios refuerzos para conseguir la rigidez que necesita el núcleo de una tabla de surf. Una vez introducida un alma longitudinalmente, cartón a los cantos de la tabla y con la resina de poliéster repartida de forma uniforme por toda la superficie del núcleo, no se consigue una rigidez total.

Una vez llegado a este punto y buscando información se cree en la posibilidad de que la capa de fibra de vidrio y resina le aporten la rigidez final necesaria para que la tabla quede totalmente rígida, pero una vez laminada la parte inferior de la tabla se comprueba que no es suficiente. En esta parte del proceso se decide parar y buscar posibles soluciones para conseguir la rigidez que se busca. La fabricación del prototipo queda estancada en este punto por motivos de tiempo y la proximidad de la fecha de entrega del proyecto, buscando así posibles soluciones para proceder a su acabado y buen funcionamiento en un futuro próximo.

El problema lo presenta el cartón “nido de abeja”, la falta de rigidez del mismo y la dificultad de que la fibra quede totalmente impregnada en el núcleo dificultan seguir con el proceso.

Para solucionarlo se tiene en cuenta dos posibles vías, siempre mantenido el material de partida.

Para solucionar que la fibra quede totalmente pegada al núcleo se solucionaría con una superficie totalmente plana, sin zonas con aire o sin material. Para ello lo que se hará es utilizar la plancha de cartón como viene de fábrica, de esta manera se perderá la novedad de fabricar una tabla “transparente” pero dará solución a tres problemas:

El primero es la reducción del tiempo de pre-shape, ya que se evitaría todo el proceso de limpieza y eliminación de las capas de cartón; El segundo: La fibra quedaría pegada e impregnada con el catón en su totalidad ya que no existirían zonas vacías de material; Y la tercera: El núcleo quedaría totalmente rígido ya que las capas de cartón superior e inferior se encargarían de contrarrestar las fuerzas longitudinales haciendo así que el núcleo no curve.

La segunda alternativa es la de seguir con el cartón “nido de abeja” y añadir dos almas en sentido longitudinal y aplicarle el doble de capas de fibra de vidrio y resina. El alma nos daría la rigidez necesaria y la aplicación de otras capas de fibra favorecerían que la fibra quedase pegada en su totalidad. Es una segunda opción que se tiene en cuenta si se busca un diseño llamativo fabricando una tabla novedosa totalmente “transparente”

pero es un proceso que requiere de más tiempo, más gasto de material y con lo cual mayor impacto ambiental utilizando el doble de capas de fibra de vidrio y resina de poliéster, quedando así casi descartado en su totalidad.

BIBLIOGRAFÍA

Páginas web:

Todosurf. <https://www.todosurf.com/>[Marzo 2018]

Surferos. <http://surferos.info/historia-tabla-surf> [Marzo 2018]

Surfmocion. <http://surfmocion.com/2> [Marzo 2018]

Costasurf. <http://www.costasurf.com/el-volumen-en-las-tablas-de-surf-explicado-de-forma-sencilla/>[Abril 2018]

Surfersvillage. <http://www.surfersvillage.com/content/superbrand-launches-guild-volume-calculator>[Abril 2018]

Havsurfboards. <http://havsurfboards.com/surfboard-volume-calculator.php>[Abril 2018]

Quemalavida. <http://quemalavida.com/partes-de-una-tabla-de-surf-y-medidas>[Abril 2018]

Ripadores. <http://www.ripadores.com/anatomia-de-una-tabla-de-surf/>[Abril 2018]

Textoscientíficos. <https://www.textoscientificos.com/polimeros/poliestireno/reciclado>
<https://formulaciones.es/tag/reciclaje/>[Mayo 2018]

Ub.edu. <http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/>[Mayo 2018]

Poliuretananomecanicatic. <https://poliuretananomecanicatic.wordpress.com/2012/11/07/contaminacion-y-reciclaje/>[Mayo 2018]

Reciclaieverde. <https://reciclaieverde.wordpress.com/2012/05/29/reciclaje-poliestiren/>
[Mayo 2018]

Fenercom. <https://www.fenercom.com> [Mayo 2018]

Anape. <http://www.anape.es/> [Mayo 2018]

Residuosprofesional. <https://www.residuosprofesional.com/tecnologia-pionera-reciclaje-fibra-de-vidrio/>[Mayo 2018]

Polimeroscompuestos. www.polimeroscompuestos.cl/Pge/PRFV.HTM[Mayo 2018]

Revista.aemac. <https://revista.aemac.org/materiales-compuestos/article/view/72/37>[Mayo 2018]

Ecured. https://www.ecured.cu/Vidrio_Pyrex[Mayo 2018]

Watsaysurfschool. <https://www.watsaysurfschool.com/reparar-tabla-de-surf/>[Mayo 2018]

Mundosurf. <https://www.mundo-surf.com/>[Mayo 2018]

Greenspec. <http://www.greenspec.co.uk/building-design/embodied-energy/>[Mayo 2018]

Diseño y fabricación de una tabla de surf
Ruiz Martínez, Jose Carlos

Carbonfootprint.<https://www.carbonfootprint.com/factors.aspx>[Mayo 2018]

Compositesuk.<https://compositesuk.co.uk/composite-materials/faqs/embodied-energy>[Mayo 2018]

Revistas Online:

Neus Palou, 2018. Combatir la contaminación por plásticos en el mar desde el espacio. *La Vanguardia*. 21 mayo 2018 [Consulta: 5/06/2018]. Disponible en: <<http://www.lavanguardia.com/natural/20180321/441773643584/contaminacion-plasticos-oceanos-mapa-consentracion-desechos-esa-espacio.html>>

Mario Demicheli, 1996. Plásticos biodegradables a partir de fuentes renovables. IPTS Report. 10 diciembre 1996 [Consulta 7/06/2018]. Disponible en < <https://libros-revistas-derecho.vlex.es/vid/plasticos-biodegradables-renovables-120222> >

Libros:

William F. Smith y Javad Hashemi. *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. 4th Ed. Gabriel Nagore Cázares y Pedro Alejandro González Caver. MC Graw Hill, 2006. ISBN 970-10-5638-8.

Daniel B. Miracle and Steven L. *Composites*. Volumen 21. ASM HANDBOOK, 2001. ISBN 0-87170-703-9.,

James F. Shackelford. *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*. 6º Ed. Alfredo Güemes y Nuria Martín. PEARSON EDUCACIÓN, S.A, 2005. ISBN 978-84-205-4451-9.

Trabajos académicos:

Yamileth Ortégón y Yomaira Uscategui. Biopolímeros: Avances y perspectivas. Manuel Fernando Valero-Valdivieso. Tesis doctoral, Universidad de La Sabana, 2013.

July Andrea Taborda-Rios, Luz Adriana Cañas-Mendoza y José Luis Tristancho-Reyes. Estudio comparativo de las propiedades mecánicas de la resina poliéster reforzada con fibra de bambú, como material sustituto de la fibra de vidrio. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, 2017.

Quintero García, Sandra Liliana; González Salcedo y Luis Octavio. Uso de la fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Proyecto académico, Universidad del Norte Colombia, 2006. ISSN: 0122-3461.

Álvaro Segurado Samaniego. Estrategia de Exportación: producción y comercialización de tablas de surf. Trabajo Final de Master en dirección de Negocios Internacionales, 2014.

Inés Iváñez del Pozo. Análisis y modelización de vigas sándwich sometidas a impactos de baja velocidad. Dra. Dña. Sonia Sánchez Sáez. Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de mecánica de medios continuos y teoría de estructuras, 2013.

Diseño y fabricación de una tabla de surf
Ruiz Martínez, Jose Carlos

Informes técnicos:

Eva Verdejo Andrés. Reducción de la huella de carbono mediante el uso de composites avanzados. Instituto tecnológico del plástico (AIMPLAS), 2016. Jornada técnica composites avanzados en automoción.

Programas informáticos:

Material Intelligence. *Ces EduPack 2016*

Programa de diseño CAD. *Catia V5R21*

Software de diseño en la industria del surf. Desarrollado por Ralph Freese, Jimmy Freese, Ryan Mohr, Craig Schwartz, Kris Skrinak y Justin Kay. *AKU Shaper*, v2.2.10.024

Normas:

España. *Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos*. A: Boletín oficial del estado. Madrid: 19 de enero de 1998.13372-13384.

España. *Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases*. A: Boletín oficial del estado. Madrid: 24 de abril de 1997. 1997-8875.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero dar las gracias a mi tutor de proyecto Gerard Sanz Collado por toda la ayuda prestada. Gracias a su compromiso y conocimiento he aprendido y me ha ayudado a desarrollar un buen trabajo final de grado.

También agradecer a las diferentes personas amantes del surf las cuales me han ayudado y me han dirigido hacia una u otra opción cuando he tenido dudas a la hora de elegir un tipo de diseño o material.

Agradecer también a todos los profesores con los que he compartido clase, por todo lo aprendido y por darme la capacidad de entender y así poder aplicar los conocimientos adquiridos durante estos 4 años en diferentes ámbitos de la Ingeniería.

Y por último agradecer a mi gran amigo Pedro Toro su colaboración durante todo el proceso de fabricación, sin él no sería posible llevar a cabo la fabricación de este prototipo. Su ayuda a lo largo de los diferentes procesos de fabricación ha sido esencial.